

**AN ISSUE PAPER
ON THE MANAGEMENT OF NUCLEAR
FUEL WASTES**

April 1989

Environmental Management Strategists

720 Bathurst Street, Unit 403
Toronto, Ontario M5S 2R4
(416) 536-9161 Fax: (416) 536-9787



"Several technologies in particular appear to pose unprecedented issues to the public, if not to their practitioners. On close scrutiny, however, none appears to involve problems that are truly novel; rather, it is the combination of issues posed and the associated uncertainties that causes them to transcend or confound our current modes of evaluation and social choice".

Kasperson

"It is at this point that many technical and scientific people find themselves becoming increasingly frustrated, as they are barraged by what appears to them as a host of non-scientific objections. Of course, from the layperson's point of view, there is a similar frustration as engineers and technicians stubbornly discuss profound value issues in narrowly technical terms".

Colglazier et al.

TABLE OF CONTENTS

Preface	iv
Glossary of Terms	vi
Chapter 1 Setting the Stage	1
1.0 Introduction	1
1.1 Basic Concepts of Radioactivity	2
1.2 Nuclear Fuel Wastes: The Nature of the Problem	3
1.3 Management of Nuclear Fuel Wastes Today	4
1.4 Nuclear Fuel Wastes: The International Context	6
1.5 Origins of the AECL Proposal	7
1.6 The Environmental Assessment and Review Process	9
Chapter 2 Issues Relating to Process	12
2.0 Introduction	12
2.1 Establishing the Need to Develop a Long-Term Program	14
2.2 Fairness of the Process	15
2.3 Capability/Credibility/Accountability of Participants	16
2.4 Openness of the Decision-Making Process	17
2.5 Alternatives to Geologic Disposal	17
Chapter 3 Disposal Technology Issues	19
3.0 Introduction	19
3.1 Understanding the Debate	19
3.2 Transportation Cask Issues	21
3.3 Packaging Nuclear Fuel Wastes	23
3.4 Disposal	25
3.5 Predicting Performance Behaviour	29
Chapter 4 Impacts and Implementation Issues	33
4.0 Introduction	33
4.1 Storage	34
4.2 Disposal	37
4.3 Packaging of Nuclear Fuel Wastes	40
4.4 Transportation	43
4.5 Impact Measurement	45
4.6 Impact Mitigation	47
4.7 Siting Process	48
Suggested Further Reading	50

PREFACE

In preparation for the Environmental Assessment and Review Process in regard to the proposed deep geological disposal of nuclear fuel wastes, the Federal Environmental Assessment Review Office retained the services of the LURA Group to prepare an issue paper on the management of nuclear fuel wastes.

The issue paper is intended to promote and encourage public interest, understanding and discussion of the issues that will be raised in the federal Environmental Assessment and Review Process in regard to the management of nuclear fuel wastes. However, given the complexity of the relevant issues and the intense debate generated by nuclear energy, this document is necessarily limited and does not claim to be complete and comprehensive.

The issue paper is not intended to answer the questions that will be the subject of the review; this responsibility falls elsewhere. Instead, it provides a basic background of the nature and scope of the review as well as relevant issues in the management of nuclear fuel wastes. The issues raised in this paper are interrelated, and while many of the connections between issues are highlighted, it would be impossible to show all the linkages and interrelationships.

In compliance with the terms of reference for the Environmental Assessment and Review Process, this paper does not address issues relating to the energy policies of Canada and the provinces, the role of nuclear energy within these policies, including the construction, operation and safety of new or existing nuclear power plants; fuel reprocessing; or the military applications of nuclear technology.

Neither does this paper address in detail any of the scientific and technological specifics in the disposal of nuclear fuel wastes or other management options. The reader is directed to material produced by Atomic Energy of Canada Limited, the proponent, or the paper "A Review of Various Approaches Being Undertaken by

Industrialized Nations for the Management and Disposal of High-Level Nuclear Waste" produced for the Federal Environmental Assessment Review Office by Acres International Limited. Suggested further readings are provided to assist the reader in pursuing the issues covered in more detail. A glossary of technical terms used in this issue paper is also provided.

The issue paper begins in Chapter 1 with a general overview of the nature of nuclear fuel wastes and their management. Subsequent chapters deal with issues relating to the management of nuclear fuel wastes. Chapter 2 raises issues relating to the process by which decisions are made as to how nuclear fuel wastes should be managed. Chapter 3 identifies issues related to the proposed concept of geological disposal while Chapter 4 addresses issues -- economic, social and environmental - relating to the management of nuclear fuel wastes in general.

Any questions arising from this issue paper should be directed to:

Robert G. Connelly
Senior Regional Director
Policy and Administration
Federal Environmental Assessment Review Office
13th Floor, Fontaine Building
200 Sacre-Coeur Boulevard
Hull, Quebec K1A 0H3

(819) 997-2711

GLOSSARY OF TERMS

The terms and acronyms in this glossary are used frequently in this issue paper.

AECEB:	Atomic Energy Control Board.
AECL:	Atomic Energy of Canada Limited.
Actinide:	An element heavier than uranium which is created when a uranium atom absorbs a neutron but does not fission.
Analogue:	Anything similar in character and function to something else.
Backfill:	In a disposal vault, the material used to refill remaining empty spaces after the waste packages and buffer have been emplaced; backfill typically consists of a mixture of clay, sand and perhaps gravel and crushed rock.
Biosphere:	The life zone of the earth, including the land surface, the plants and animals, the regions below the land surface to the limit of biological activity, the lower part of the atmosphere, and surface water bodies and their bottom sediments. It includes the human habitat or environment in the widest sense.
Buffer:	A barrier surrounding the waste containers in a disposal vault, consisting of highly absorbent material intended to retard the movement of water, the rates of container corrosion and fuel dissolution, and radionuclide migration.
CANDU:	<u>CAN</u> ada <u>D</u> euterium <u>U</u> ranium. A Canadian designed reactor which currently uses natural uranium fuel.
Disposal:	Emplacement of waste materials in a vault, or at a given location, with no intention of retrieval.
Disposal vault:	Underground chamber for the disposal of nuclear fuel wastes.

Fission:	The splitting of an atomic nucleus into two approximately equal parts with the release of a large amount of energy; may be spontaneous or can be induced by neutrons hitting the nucleus.
Fission product:	A nuclide produced either directly by nuclear fission or by the subsequent radioactive decay of a radionuclide produced by fission.
Fuel bundle:	A grouping of metal tubes containing uranium fuel in the form of pellets.
Fuel recycle wastes:	Wastes resulting from fuel reprocessing.
Geological transport:	The movement of radioactive or other material through the geosphere. The most common mechanism is the movement of material dissolved in groundwater through fractures in the surrounding geology.
Geosphere:	The solid outer portion of the earth's crust.
Half-life, radioactive:	The time in which half of the atoms of a given element decay.
Hydraulic:	Operated by the movement and pressure of liquid.
IAEA:	International Atomic Energy Agency.
Immobilization/packaging:	Treatment of radioactive waste to convert it to a form that reduces the potential for migration or dispersion of radionuclides during storage, transportation and disposal.
Intrusive igneous rock:	Rock formed by the solidification of molten material which has forced itself into an existing rock formation. This rock type is typical in the Canadian Shield.
Model:	In computer science or applied mathematics, an analytical or mathematical representation or quantification of a real system and the ways that phenomena occur within the system.
Modelling:	In computer science, the establishment or application of a model to understand a physical, biological or geological system to which it is analogous in some way.

Nuclear fuel wastes:	Used fuel bundles from a nuclear reactor as well as fuel recycle wastes.
Permeability:	The capacity of a rock, for example, to transmit water or other fluid.
Quality Assurance:	Systematic actions necessary to provide adequate confidence that an item, facility or person will perform satisfactorily in service.
Radiation:	The emission of very fast atomic particles or rays by nuclei. Some elements are naturally radioactive, while others become radioactive after bombardment with neutrons or other particles. The four major forms of radiation are alpha and beta particles, neutrons and gamma rays.
Radionuclide:	A radioactive chemical element.
Recycling:	The re-use of fissionable materials from used fuel bundles in new reactor fuel after it has been recovered by chemical processing.
Simulation:	In general terms, mimicking some aspect or all of the behaviour of one system with a different system.
Storage:	Emplacement of waste materials in a facility with the intent of retrieving it at a later time.
SYVAC:	<u>S</u> ystems <u>V</u> ariability <u>A</u> nalysis <u>C</u> ode. A family of computer programs written by AECL that perform calculations on the long-term performance of disposal systems.
Used fuel bundle:	A fuel bundle that has been removed from a nuclear reactor.

CHAPTER ONE

SETTING THE STAGE

1.0	<i>Introduction</i>	1
1.1	<i>Basic Concepts of Radioactivity</i>	2
1.2	<i>Nuclear Fuel Wastes: The Nature of the Problem</i>	3
1.3	<i>Management of Nuclear Fuel Wastes Today</i>	4
1.4	<i>Nuclear Fuel Wastes: The International Context</i>	6
1.5	<i>Origins of the AECL Proposal</i>	7
1.6	<i>The Environmental Assessment and Review Process</i>	9

1.0 INTRODUCTION

Of the many technological advancements made during the twentieth century, few have evoked such widespread and intense debate as has the technology associated with nuclear fission and particularly its use for energy. One of the major factors contributing to public concern over nuclear energy is that there is at present no proven method for managing used fuel from nuclear reactors over the long-term. It has been said that making decisions pertaining to the management of these highly radioactive nuclear fuel wastes is one of the greatest challenges facing society today. Clearly, there are no easy answers. There are as many approaches to managing nuclear fuel wastes as there are countries which use nuclear energy. As noted by the World Commission on Environmental Development in 1987:

"Civil nuclear energy programmes world-wide have already generated many thousands of tons of spent fuel and high-level waste. Many governments have embarked on large-scale programmes to develop ways of isolating these from the biosphere for the many hundreds of thousands of years that they will remain hazardously radioactive.

But the problem of nuclear waste disposal remains unsolved. Nuclear waste technology has reached an advanced level of sophistication. This technology has not however been fully tested or utilized and problems remain about disposal."

In Canada, as elsewhere in the world, nuclear power plants have created a significant quantity of nuclear fuel wastes. There is, however, no broad consensus in Canada on how these wastes should be managed over the long-term. Under the direction of the government of Canada, Atomic Energy of Canada Limited (AECL), following a decade of research, has proposed a concept which involves disposal of nuclear fuel wastes 400 metres or deeper in the intrusive igneous rock of the Canadian Shield. Because these wastes pose health hazards to man and have the potential of causing damage to the environment for thousands of years, any management technique must be subject to the most rigorous review and full public scrutiny. The disposal concept proposed by AECL is, therefore, to be reviewed under the federal Environmental Assessment and Review Process (EARP).

1.1 BASIC CONCEPTS OF RADIOACTIVITY

One of the most difficult aspects of deciding how to manage nuclear fuel wastes stems from the fact that these wastes are highly radioactive. The radiation released cannot be seen, felt or smelled. However, human, animal or plant cells exposed to radiation can be damaged or killed. Exposure to radiation can cause injury to humans or animals and can result in changes to offsprings, through genetic mutations. It is therefore very important to ensure that nuclear fuel wastes are not allowed to contaminate the environment.

Radioactivity is not a simple phenomenon. It is the property inherent in certain atoms by which the nucleus of an atom spontaneously decays to produce new atomic structures while releasing radiation. Nuclear fuel wastes are made up of a mixture of radioactive elements which decay at different rates. These rates are expressed in terms of a radioactive element's half-life. The half-life is the time in which half of the atoms of a given element

decay. The length of time an element is radioactive depends on how rapidly it decays. Plutonium²³⁹, for instance, has a half-life of 24,390 years, which means that it will give off radiation for tens of thousands of years because after almost 25,000 years one half of the atoms will still be emitting radioactivity. Iodine¹³¹, on the other hand, has a half-life of eight days, so that after a year or so only a trace of the substance would remain.

1.2 NUCLEAR FUEL WASTES: THE NATURE OF THE PROBLEM

Nuclear fuel wastes consist of the used fuel bundles taken from the reactors or the wastes that would be left over if the used fuel bundles were recycled. The recycling of used fuel bundles would be initiated to extract fissionable material for use again in the reactor fuel. The steps leading to the production of these wastes are as follows.

Uranium fuel is fabricated from refined uranium dioxide by Canadian manufacturers who press and sinter it into fuel pellets which are sealed inside metal (zirconium alloy) tubes. Many tubes are grouped together to make a fuel bundle and several thousand of these bundles are used as fuel to power a CANDU (CANada Deuterium Uranium) nuclear reactor.

During the operation of the reactor, the nuclei of some of the uranium²³⁵ atoms contained in the fuel pellets absorb neutrons and split apart (fission), releasing large amounts of energy. This fissioning process produces heat and radiation and releases other neutrons which cause fission in more uranium atoms in a chain reaction. The heat produced by this continuous fission process is used to turn water into steam, which in turn is used to generate electricity.

During its time in the reactor, new radioactive elements called fission products and actinides are created in the fuel bundle. Actinides are elements heavier than uranium which are created when a uranium atom absorbs a neutron but fission does not occur. The most prevalent actinide created is plutonium²³⁹, a fissionable element that also produces

energy in the reactor and has potential as a future reactor fuel. Fission products, on the other hand, act as a brake on the chain reaction by absorbing neutrons and keeping them from producing fission in uranium atoms. When too many fission products build up in a fuel bundle -- after about a year and a half -- it becomes inefficient. After about 18 months, about 70 percent of the uranium²³⁵ in the fuel bundle is used up, and the fuel bundle must be replaced with a new one containing a fresh supply of uranium. These used fuel bundles look the same as the unused fuel bundles, but are highly radioactive, give off considerable amounts of heat, and are called "nuclear fuel wastes".

The radioactivity of the used fuel bundle is caused by the remaining uranium²³⁵ as well as new unstable atoms in the fuel. As these atoms decay the level of radioactivity decreases. Nuclear fuel wastes are 100 times less radioactive after one year and 1000 times less radioactive after ten years. The majority of fission products in the used fuel have short half-lives and will decay to stable forms within 500 years. After that, actinides with much longer half-lives are responsible for most of the remaining radioactivity.

Each decay also releases energy so that the used fuel bundle produces heat -- some 2000 watts the day after it leaves the reactor. This decreases rapidly to about 60 watts (the heat from an ordinary light bulb) after one year.

1.3 MANAGEMENT OF NUCLEAR FUEL WASTES TODAY

Since 1965, Canadian built CANDU reactors have been providing heat through the nuclear fission process in order to generate steam needed to run turbines for producing electricity. For reasons of simplicity, the electricity produced by using nuclear reactors is called nuclear energy. In 1986, nuclear energy provided 15% of Canada's electrical requirements. To date, the resultant nuclear fuel wastes have been placed in storage at the point of generation until a satisfactory solution to their long-term management is developed. Storage can be defined as the "confining of material with the intention of recovering it." By the end of 1987, some 12,400 metric tonnes of nuclear fuel wastes were in storage at

Canadian nuclear power plants. This amount would cover an ice hockey rink to a depth of approximately one metre. By the year 2,000, there will be 42,000 tonnes in storage.

As stated earlier, when removed from the nuclear reactor the used fuel bundles are highly radioactive and cannot be handled directly by human beings. As such, they are removed by remote control from Canadian nuclear power reactors and are stored in deep water-filled pools. Once under water, these fuel bundles are placed in storage baskets within a stacking frame or cage which is designed so that the water can circulate around the used fuel bundles.

Used nuclear fuel emits gamma rays and alpha and beta particles. Since the stored fuel bundles remain intact and isolated from the environment, radioactive materials emitting alpha and beta particles are shielded from man. Penetrating gamma radiation is blocked by about 4 metres of water over the fuel stacks.

After the used fuel bundles have been stored in water for five years, they no longer require as much cooling and can be transferred to dry storage. Thick-walled concrete above-ground storage canisters have been developed for this purpose. The one-metre thick concrete walls provide shielding against penetrating radiation. Whether it be wet -- the main form of storage -- or dry storage, with suitable maintenance used fuel bundles can be stored for very long periods of time -- at least 50 years.

In Canada, the activities relating to nuclear fuel waste management are subject to regulatory control, which is administered by the Atomic Energy Control Board (AECB). The AECB is a federal crown corporation which was created following the adoption of the Atomic Energy Control Act (1946) to control and supervise the development, application and use of nuclear energy. In its regulatory role, the AECB is responsible for setting safety standards, issuing licenses and monitoring nuclear power generating stations and waste management facilities.

1.4 NUCLEAR FUEL WASTES: THE INTERNATIONAL CONTEXT

As is the case in Canada, most countries with nuclear power programs are currently managing their nuclear fuel wastes by storing them underwater at reactor sites. Some countries such as Sweden and the United States have either established or are considering establishing centralized storage facilities which accept nuclear fuel wastes from reactor sites. It is, however, generally recognized by the international nuclear community that underwater storage is an interim method of managing nuclear fuel wastes.

As such, much emphasis has been placed on the search for a suitable way of disposing of nuclear fuel wastes. Disposal can be defined as "a form of management without any intention of recovery." At present there are no disposal facilities operating in the world. The international nuclear community is leaning toward emplacement of nuclear fuel wastes in geological formations as the long-term management approach. Internationally, various methods of disposal of nuclear fuel wastes have been explored, including:

- * transmutation to stable or short-lived radionuclides;
- * surface disposal;
- * extraterrestrial disposal;
- * geological disposal in continental ice sheets;
- * disposal in the seabed; and
- * underground geological disposal.

Underground disposal would involve the placement of nuclear fuel wastes in a conventionally-mined vault deep within a geological formation in the earth. The concept is that the geological formation would provide shielding, absorb and disperse heat, and serve as a barrier to intrusion by man. Several potential host media are being investigated including: clay (Belgium), shale (Italy, Belgium), volcanic tuff (United States of America), basalt (United States of America), salt (Federal Republic of Germany), and igneous rock (Canada, Sweden, Switzerland).

1.5 ORIGINS OF THE AECL PROPOSAL

Until the 1970s, the development of a safe and economic nuclear power production system took virtually all the effort and money available to the nuclear industry, and the question of the management of nuclear fuel wastes received only enough attention to assure temporary storage. The establishment in 1972 of the Committee Assessing Fuel Storage - with membership from AECL, Ontario Hydro and Hydro-Quebec -- marked the initial steps toward dealing with nuclear fuel wastes over the long term.

The Committee recommended that all radioactive waste be stored in interim retrievable facilities with perpetual surveillance until disposal methods could be found. It recommended that work be initiated on the development of above-ground, canister-type storage facilities as the interim waste management method. These facilities would provide additional storage capacity to the existing underwater storage facilities at reactor sites. For permanent disposal, emplacement of nuclear fuel wastes in geologic formations such as salt was recommended as a research program focus.

In 1974, AECL requested that the Department of Energy, Mines and Resources and the Geological Survey of Canada review proposed disposal technologies in geologic formations and recommend which formations could be suitable for Canada. This review found that either salt or hard intrusive igneous rock might be suitable for the disposal of nuclear fuel wastes. It was noted that some hard rock formations -- specifically igneous rock -- within the Canadian Shield which underlies much of central Canada, might be most appropriate. The vast expanse of the Shield, its relative stability for at least 600 million years, and the fact that it had not experienced major folding or faulting for 2.5 billion years made it an attractive candidate area for the geological disposal of nuclear wastes.

By the mid 1970s, a number of factors prompted the government of Canada to begin formulating policies for the long-range management of the radioactive products of nuclear powered generating stations -- including nuclear fuel wastes. These factors included the urgency of the national energy question in the 1970s, the importance of nuclear powered

electricity generation as a contribution to Canada's future energy, and the increasing public concern regarding the overall safety of nuclear power.

A landmark contribution toward developing such a policy was the establishment in April 1977 by the Department of Energy, Mines and Resources of a study group whose terms of reference were to:

"carry out a study on the safe long-term storage of radioactive waste and to submit a report that would contain information of a quality and scope sufficient to serve as a general document for wide distribution, both within government and to the public in order to facilitate a better understanding of the waste disposal problem."

The report prepared by the study group, chaired by F.K. Hare, described the alternative options open to Canada for disposal of nuclear fuel wastes, examined public concerns regarding the management of nuclear fuel wastes, and recommended appropriate research options which Canada should pursue. The study concluded that a national plan for managing and disposing of nuclear fuel wastes was timely, and that such wastes could not be allowed to accumulate indefinitely in storage. Of the various disposal options considered, the study team considered that underground disposal in igneous rock was the most promising research option for Canada, with salt as the second alternative.

In June of 1978, the governments of Canada and Ontario announced a program to determine whether radioactive wastes from nuclear power reactors could be permanently disposed of in a deep underground vault in a stable rock formation. The program was to test whether burial of both used fuel bundles and recycled wastes in a specially constructed facility deep in the intrusive igneous rock of the Canadian Shield could isolate the wastes from the environment until they were harmless. This program was to be undertaken by AECL, the federal crown corporation responsible for developing nuclear technology. At the same time, Ontario Hydro was given the responsibility of researching the best methods for interim storage and transportation of nuclear fuel wastes.

AECL's initial program of geological research was perceived by many members of the public as being a site selection process, rather than a program to evaluate the technology. Many communities in the Canadian Shield portion of Ontario opposed AECL's testing program, fearing that if they participated in the program, they would end up with the nuclear fuel wastes being disposed in their backyard. The subsequent delays in geological research due to public opposition prompted a re-statement of the government's research and development plans for nuclear fuel wastes. This came in August of 1981, when the governments of Canada and Ontario reaffirmed their commitment to a long-term management program for nuclear fuel wastes. The August 1981 announcement stated that no site selection for a permanent disposal facility would be started until the concept of geological disposal had undergone extensive research and a full regulatory and public review, and had been accepted as safe, secure and desirable by both governments.

1.6 THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND REVIEW PROCESS

In September of 1988, following ten years of research into the deep geological disposal option, AECL was ready for a public review of the disposal concept. The Minister then responsible for Energy, Mines and Resources, the Honourable Marcel Masse, requested that the Minister of the Environment initiate the federal Environmental Assessment and Review Process (EARP) to review AECL's deep disposal concept. In his request for a review, the Minister wrote:

"The long-term management of nuclear fuel wastes raises issues of great concern to Canadians, including very basic questions of health and safety. This review will provide an opportunity for full public discussion of these issues. It will be one of the most important environmental assessments ever undertaken in this country and will provide an essential foundation for future decisions on energy policy.

I believe that the review of the safety and environmental impacts of the disposal concept must take place in the context of a broad public review of the issues of public concern and with full awareness of a range of approaches to long-term management of nuclear fuel wastes. These should include the programs of other leading

countries in this field, different geological media, and different plans and schedules for the siting and construction of nuclear waste-management facilities."

A federal Environmental Assessment Panel is to examine the broad range of issues that the disposal concept raises. The Panel will allow for public input and participation in the Review throughout the country and especially in the provinces of Ontario, Quebec and New Brunswick, where nuclear fuel wastes are now being produced and stored. Because the scientific and technical material in this review will be complex, a Scientific Review Group of independent experts will be established by the Panel to undertake an indepth review of AECL's proposed concept and also provide technical advice and input to the Panel if and when required.

ISSUES ADDRESSED BY THE REVIEW

It is expected that the federal Environmental Assessment and Review Process will include an examination of such issues as:

- * criteria for determining safety and acceptability;
- * criteria for managing nuclear wastes, as compared to non-nuclear wastes;
- * approaches to the long-term management of nuclear fuel wastes;
- * what burden the concept should place on future generations;
- * social, economic, environmental implications;
- * the experience and approaches of other countries to the problem of nuclear fuel wastes;
- * recycling or other processes to reduce the volume of waste;
- * recommended process and criteria for siting a long-term nuclear fuel waste disposal facility;
- * future steps to be taken with respect to nuclear fuel wastes in Canada; and
- * transportation of nuclear fuel wastes.

ISSUES NOT ADDRESSED BY THE REVIEW

Because no site selection will occur until a disposal concept has been accepted, the Panel will not consider specific sites for nuclear fuel wastes disposal facilities. The Panel will also not address the energy policies of Canada and the provinces; the role of nuclear energy within these policies; whether or not fuel reprocessing should be undertaken; and military applications of nuclear technology.

CHAPTER TWO

ISSUES RELATING TO PROCESS

2.0	<i>Introduction</i>	12
2.1	<i>Establishing the Need to Develop a Long-Term Program</i>	14
2.2	<i>Fairness of the Process</i>	15
2.3	<i>Capability/Credibility/ Accountability of Participants</i>	16
2.4	<i>Openness of the Decision-Making Process</i>	17
2.5	<i>Alternatives to Geologic Disposal</i>	17

2.0 INTRODUCTION

In countries which use nuclear reactors to generate a portion of their energy supply, the way in which nuclear fuel wastes are managed depends largely on policy decisions made by governments and their agencies as well as a regulatory framework adopted by each country. The process by which decisions concerning nuclear wastes are made is often very complex and varies from country to country. Such processes may differ in terms of: who is involved in the process, who makes decisions, the timing and scope of the process, the degree of information-sharing, and the availability of resources to implement the decisions and other factors. The way in which decisions about nuclear fuel wastes are made in Sweden, for example, is different than in the United States.

Process issues in the debate on the management of nuclear fuel wastes relate to the ways and means by which the international nuclear community reached the conclusion that geological disposal was an appropriate option for long-term management. Included in this search for an appropriate option is the assertion that something must be done other than what is currently being done with nuclear fuel wastes.

In Great Britain, for example, nuclear fuel wastes first became fully established as a policy problem in 1976, when the Royal Commission on Environmental Pollution pronounced that:

"...there should be no commitment to a large programme of nuclear fission power until it has been demonstrated beyond reasonable doubt that a method exists to ensure the safe containment of long-lived highly radioactive wastes for the indefinite future."

By alluding to the inappropriateness of current practices for the indefinite future, the search for other options was initiated. Geological disposal is the "something other" which has been recommended by the international nuclear community for the management of nuclear fuel wastes for the indefinite future.

Public confidence in and support of the process by which this recommendation for geological disposal was arrived at is crucial for attaining public support for any recommendation to proceed with a project or program.

In Canada, both federal and provincial governments have played lead roles in the management of fuel waste from CANDU reactors since the beginning of the nuclear industry in this country. Prior to 1978, most federal government initiatives relating to nuclear fuel wastes were conceived and implemented by Atomic Energy of Canada Limited, the federal crown corporation in charge of nuclear research and development and/or the Atomic Energy Control Board, the federal nuclear regulatory agency. Provincial initiatives were generally conceived and carried out by the provincial utilities operating nuclear power generating plants in Ontario, Quebec and New Brunswick.

However, in 1978, the governments of Canada and Ontario decided to adopt a co-operative approach in the management of nuclear fuel wastes. At that time, the two governments issued a joint announcement directing AECL to co-ordinate and administer a research and development program on the immobilization and disposal of nuclear fuel wastes. Specifically, AECL was asked to assess whether permanent disposal of the waste in a deep,

underground repository in intrusive igneous rock is a safe, secure and desirable method of managing nuclear fuel wastes. This government directive was based on recommendations forwarded by a study group chaired by Dr. Kenneth Hare, as well as results of earlier research by AECL. Since 1978, AECL has been conducting detailed research on the suitability of burying nuclear fuel wastes in vaults deep within the igneous rock formations of the Canadian Shield portion of Canada. An evaluation of this work is an essential component of the review to be conducted under the federal Environment Assessment and Review Process.

With any such review, a wide variety of issues or questions can be expected to arise. The issues or questions generally related to process range from the need and viability of the proposed activity, project or concept to the social setting in which the need was established and viability assessed. The following sections look at some of the major related issues and questions in the context of the management of nuclear fuel wastes. The Canadian experience is used as an example to illustrate the kinds of issues which may arise in the process of managing nuclear fuel wastes.

2.1 ESTABLISHING THE NEED TO DEVELOP A LONG-TERM PROGRAM

Obviously the implementation of any concept for the management and/or disposal of nuclear fuel wastes will have environmental impacts -- both positive and negative. A fundamental question with respect to reviewing any such process is the establishment of need for the undertaking.

- * Has the need to initiate the undertaking or course of action been clearly demonstrated?
- * Is it necessary to develop an alternative waste management strategy which differs from the current approach of storing nuclear waste at reactor sites?

- * On what basis was it decided that Canada should pursue the concept of disposal of nuclear fuel wastes?

2.2 FAIRNESS OF THE PROCESS

The concept of fairness is extremely important in assuring public acceptability of any decision-making process, particularly in a setting where democratic principles are prevalent. In the case of the management of nuclear fuel wastes, it is necessary to consider both current and future interests when considering the question of fairness. This is because nuclear wastes remain extremely radioactive for many years and as a result, decisions made today will have serious implications for future generations.

Fairness to Current Interests

- * How will collective consent be obtained on how to manage nuclear fuel wastes? Is this process acceptable to those who must bear the consequences?
- * Are the goals and objectives of the process clearly stated and defined?
- * Who is involved in the process? Are all interests adequately represented?
- * What are the respective roles and responsibilities of government bodies, the nuclear industry, and the public?
- * How and when does public consultation occur and how will public input be taken into account?
- * Is sufficient funding provided to enable those involved to participate effectively?

Fairness to Future Generations

- * What responsibility does the current generation have to future generations in selecting a method for managing nuclear fuel wastes?
- * Should an alternative which strives to minimize or eliminate management obligations for future generations -- such as burying waste in a sealed vault - take precedence over an approach which may require more diligent management on the part of future generations -- such as the current method of storing waste at reactor sites -- but which would allow these generations more flexibility in responding to potential problems?
- * Should we commit ourselves now to a permanent management option based on current technology when the possibility exists that a more desirable method of managing nuclear fuel wastes may be developed in the future?

2.3 CAPABILITY/CREDIBILITY/ACCOUNTABILITY OF PARTICIPANTS

The perceived capability, credibility and accountability of participants in the process are equally important variables which may give rise to a number of issues and questions.

- * Is the existing social institutional framework for managing nuclear fuel wastes capable of dealing adequately with issues and problems having a time span of several thousand years?
- * How important is the idea of agency, organization and individual credibility in the whole area of the management of nuclear fuel wastes? How is this credibility demonstrated?

- * What are the relationships between the proponents and the regulatory bodies and how is accountability illustrated?

2.4 OPENNESS OF THE DECISION-MAKING PROCESS

The degree of openness in a decision-making process has a direct bearing on the success of that process.

- * Is all pertinent information on the undertaking available to the public?
- * To what extent is information shared among the participants in the process?
- * Are those involved given adequate opportunity to comment upon the submissions of other participants in the process?
- * Is there adequate opportunity for public scrutiny of proposals and decisions arising from the process?

2.5 ALTERNATIVES TO GEOLOGIC DISPOSAL

An examination of the alternatives to the proposed undertaking assists in evaluating the relative strengths and weaknesses of the proposal itself.

- * What management and disposal alternatives were considered for nuclear fuel wastes?
- * How do other approaches compare to deep geological disposal?
- * How were these alternatives evaluated? On what basis were they rejected?

- * Is it appropriate to rule out alternative disposal or management options on the basis of current knowledge and technical expertise?

CHAPTER THREE

DISPOSAL TECHNOLOGY ISSUES

3.0	<i>Introduction</i>	19
3.1	<i>Understanding the Debate</i>	19
3.2	<i>Transportation Cask Issues</i>	21
3.3	<i>Packaging Nuclear Fuel Wastes</i>	23
3.4	<i>Disposal</i>	25
3.5	<i>Predicting Performance Behaviour</i>	29

3.0 INTRODUCTION

Pursuing the disposal option raises a number of scientific and technological issues. These issues have been raised from both radiological and non-radiological perspectives. In essence, the technology for the disposal of nuclear fuel wastes involves three broad areas of research and development:

- 1) the design and construction of the transportation cask;
- 2) the preparation or packaging of the nuclear fuel wastes for disposal; and
- 3) the design, construction and operation of the disposal vault.

3.1 UNDERSTANDING THE DEBATE

In addition to the very real scientific and technological challenges of a new and untried system, the evidence put forward to address these challenges is interpreted differently based on one's prevailing view of the nature of science.

One view assumes that:

- * science is driven mainly by evidence (facts, data) which can clearly be distinguished from theories;
- * science produces answers and reduces uncertainties;
- * consensus is normal and desirable in science;
- * peer review and other self-regulatory mechanisms are adequate for ensuring quality in research; and
- * scientific knowledge is established on a relatively short time scale (e.g. fast enough to demonstrate, in time for the disposal facility to open on schedule, "reasonable assurance" that the facility will meet the regulatory criteria).

An alternative view of science maintains that:

- * science is primarily driven by theory and assumptions which also affect the selection, nature and interpretation of evidence (facts, data);
- * research generates as many questions as answers (so that we should expect significant surprises in research results on geological disposal);
- * consensus may be a sign of hasty thinking (and pluralism of theories, research programs and methods is normal and desirable);
- * peer review is prone to scientific orthodoxy and political manipulation; and
- * science proceeds more slowly than the disposal programs appear to assume.

These contrasting views of science affect one's views pertaining to the real significance of scientific and engineering achievements and the resultant uncertainties as well as the time needed to resolve these uncertainties. Supporting evidence such as theories, experimental and analytical tools, regulations and human factors are therefore discussed and evaluated accordingly. Indeed, the controversies over disposal evidence reveal a great deal of confusion as to the meaning of phrases like "technically credible", "resolve uncertainties", "verify or validate a theory or model", "technically sound", "technically flawed", "reasonable assurance", etc. This confusion appears to add to further disagreement as to the relative

roles of "objective" and "judgmental or evaluational" factors in science.

3.2 TRANSPORTATION CASK ISSUES

Proceeding with the geological disposal option necessitates the transportation of nuclear fuel wastes from the reactors to final disposal site(s). Several issues have been raised relating to transportation cask technology ranging from quality assurances to cask integrity to the design of tests for assessing transportation cask performance.

3.2.1 Quality Assurance

While performance requirements for a transportation cask can be established on the basis of stated needs, the quality of the workmanship that goes into developing the cask can create problems. These problems can result from either human factors or manufacturing process deficiencies.

- * Can quality assurance be obtained?
- * How can this assurance be obtained?

3.2.2 Cask Integrity

Prior to licensing a transportation cask, a cask must comply with international standards established by the International Atomic Energy Agency (IAEA). The main licence requirement is that the cask be capable of containing the contents after a series of tests designed to simulate severe accident conditions. These include a nine-metre drop onto a hard, unyielding, flat surface; a one-metre drop onto a solid steel spike 15 cm in diameter and 20 cm long; exposure to a temperature of 800 °C (from a petroleum fire) for at least 30 minutes; and immersion in 15 metres of water for eight hours.

- In view of the issues raised in Section 3.2.3, is there too much reliance on the soundness or integrity of the transportation cask?

3.2.3 Testing Transportation Cask Performance

Concerns have been raised about the representativeness of the transportation cask tests, the way in which the tests are conducted and the appropriateness of scale model tests/computer simulations to real world conditions. Relating to the crush test, for example, especially in train transport, the crush forces can exceed considerably those simulated in a nine-metre vertical drop onto a hard, unyielding, flat surface. Also, while temperatures from a petroleum fire reach 800 °C, temperatures from the burning of butane, ethene, ethyl acetate, liquid natural gas and propane -- to mention a few -- burn with flame temperatures greater than 1750 °C.

- Are the standards set by IAEA for cask performance adequate to protect human health and the environment?

The way in which tests are conducted has also raised concerns. For example, in the Sandia Laboratories tests in Arizona, U.S.A, the transportation cask "tie-down" devices rigidly hold the cask to the truck trailer bed so that the latter would absorb a portion of the shock from a crash. (In the Sandia tests the truck hit an immovable wall at 95-130 km per/hr but because of the rigid "tie-down" devices the cask itself hit the wall at about 50 km per/hr.). If, for whatever reasons -- human, equipment malfunction -- the "tie-down" devices were not rigid, these devices could snap, causing the cask to impact at much higher speeds.

- Are the protocols for testing transportation casks stringent enough to protect against human error or equipment malfunction?

- * Can scale model tests and computer simulations replace actual tests in providing accurate results?
- * Can scale model tests and computer simulations provide an acceptable level of confidence in the projected outcome?

3.3 PACKAGING NUCLEAR FUEL WASTES

Packaging (also referred to as immobilization) of the wastes acts as an initial barrier to the migration of radionuclides into the environment. A number of combined engineered barriers are envisaged as forming the packaging technology:

- * a solid, highly insoluble waste form;
- * a waste canister constructed of corrosion-resistant materials; and
- * an overpack, which can be another canister, or a buffer/backfill material that would ultimately separate the waste in a vault from the geological formation.

The effectiveness of the packaging as a barrier depends on its own physical and chemical properties, on the effects of heat and radiation from the waste, the chemical composition of the waste and on the properties of the geological medium (granite, clay, volcanic tuff, salt, etc.) including flow of groundwater and its chemical composition.

Since the most likely means for radioactive material to reach the surface is for it to be dissolved and carried by groundwater, four broad time-related areas of concern exist:

- * the time before the waste is exposed to water;
- * the time it takes for waste in various forms to dissolve in water;
- * characteristic times for processes that change a waste form, causing, for example, the breaching of a canister or the crumbling of the solid waste form; and

- * the effects of failures in quality control.
- * What are the guarantees, if any, in these time-related packaging issues?

3.3.1 Insoluble Waste Form

In terms of used fuel bundles, the waste form is a highly insoluble solid encased in a corrosion resistant (zirconium) alloy. To package the liquid radioactive waste arising from recycling, ceramics or glasses are being considered.

The appropriateness of glass for packaging is often supported with reference to either Egyptian glasses produced more than 3,000 years ago (1400 B.C.) and Roman glass produced 2,000 years ago (75 A.D.) which have survived the ravages of time. They have survived despite their creation for decorative rather than for durable purposes.

Today, for example, a variety of nonradioactive glass and glass-ceramic waste-form samples have been prepared by such countries as Canada, U.S.A., Germany, France, Belgium, Japan and Italy. A number of these samples have been emplaced for testing purposes in the Waste Isolation Pilot Project (WIPP), in New Mexico. A similar experiment was initiated in 1957 at Chalk River Nuclear Laboratories in Ontario.

- * What are the advantages and disadvantages of materials available for making the nuclear fuel wastes insoluble?

3.3.2 Waste Canister

For packaging nuclear fuel wastes, the favoured idea is to place the material into metal containers (titanium, nickel-based alloys, stainless steel, copper etc.) along with some filling material (concrete, glass beads etc.). The metal selected will be corrosion-resistant. For example, early in the Canadian research program stainless steel was ruled out as a candidate canister material because of the field research discovery that groundwater within the Canadian Shield was highly saline.

- * Is there a potential for changes in groundwater chemistry over time which could impair the corrosion resistance of the waste canister?

3.3.3 Buffer/Backfill

A final engineered barrier as part of the packaging technology would be the emplacement of buffer and backfill material in the vault to separate the waste form from the geological formation. Materials such as bentonite or other low-permeability clay-based materials are being considered for this role.

- * How important are the emplacement procedures for buffer and backfill material relative to their selection because of low permeability?

3.4 DISPOSAL

The proposed use of a mined geological repository for the disposal of nuclear fuel wastes is based largely on the long-term stability of geological systems. Advocates of the geological disposal option often cite the Oklo phenomenon as an appropriate example. In the Oklo phenomenon, a nuclear "reactor" was created naturally in a rich uranium deposit in West Africa. When the site was discovered in 1972, it was found that the plutonium and most other long-lived radionuclides that were formed had stayed near their point of origin for nearly 2 billion years. In fact, the plutonium had not left the grains of uraninite ore in which it was formed.

3.4.1 Geological Formations

A number of geological formations are being considered for a mined repository for the disposal of nuclear fuel wastes. Intrusive igneous rocks such as granite and basalt are being considered in Sweden and Canada for example, salt formations are under intensive study

in West Germany, while clays and/or shales are being considered in countries such as Belgium and Italy. Each country is focusing its financial resources and research efforts on the geological formations most common in their country. Bi-lateral, multi-lateral and international co-operative agreements are used as means of obtaining information on research programs in other geological formations. The properties of each geological formation -- its advantages and disadvantages -- vary. These variations range from permeability to resistance to radiation damage to thermal conductivity properties.

- * Is igneous rock appropriate for the geological disposal of nuclear fuel wastes?
- * How does igneous rock compare to other geological formations as to its suitability for the disposal of nuclear fuel wastes?
- * How was salt ruled out as an option for geological disposal?

3.4.2 Geological Transport

Except for human intrusion, the most likely route for nuclear fuel wastes to reach the surface is via groundwater. Dramatic events such as earthquakes, volcanoes, meteorites and glaciations are also considerations relating to geologic transport, but these are events much more likely to change the hydrogeologic characterisation of a site than to directly bring radioactive material to the surface.

The conditions that determine the time it takes groundwater to transport material from the repository to the surface are very complicated. Variables that affect groundwater transport to the surface relate to the hydraulic conductivity of the host geological formations, the chemical and thermal properties of the rock and groundwater, the depth and lateral extent of groundwater basin, and the existence of pathways (faults) that provide potential outlets to the surface.

Because of this complexity, exact estimates of transport time have to be site specific.

Alternatively, research could define the desirable characteristics of a site that would guide the selection of a repository. Such a definition will help determine a typical favourable estimate of transport time.

- * Having done this, one then can ask what is the effect of having one unfavourable characteristic, such as a nearly vertical fault?

The existence of unfavourable characteristics is not the only factor that contributes to the reduction of the time it would take to transport radioactive material to the surface. A variety of geological phenomena can change most of the variables within the times for which the nuclear fuel wastes are a hazard. Seismic or volcanic activity can produce faults, for example, and erosion can change the geometry and hydraulic potential of the groundwater basin.

- * How confident can we be that unplanned geologic activity will not alter transport times in a geological nuclear waste disposal site?

The level of knowledge about groundwater movements in general varies depending upon the geological formation being considered. In some geological formations, water movements are well established. For example, the very existence of a salt bed indicates that large flows of water through the salt has not occurred or the salt would have been dissolved. In others, such as granite, very little was known in the earlier stages of the research programs, hence the need for extensive field research and regional groundwater flow studies.

- * How much confidence do we have in the prediction of groundwater movement in granitic rock?

The possible introduction of radionuclides into the groundwater raises further questions relating to transport times from a vault. Questions such as these, and others, are largely the reasons behind the construction and/or development of large underground research laboratories. Examples of international facilities are at Stripa, Sweden; Canada's

Underground Research Laboratory in Manitoba and the Grimsel Rock Laboratory, Switzerland.

- * Are we confident in the results of the tests being conducted in these underground research laboratories?

Unwitting human intrusion into a sealed waste repository is to be guarded against by locating repositories in areas with no valuable resources and locating them at substantial depths.

- * Should these sites be marked for identification purposes, and if so, how?

3.4.3 The Biosphere

How any dissolved radioactive material reaching the surface would be diluted by surface water and how much would be taken up and retained by plants and animals is also the subject of disposal research programs. Answers to these questions are then used to calculate how much of the radioactive waste might reach man through the air he breathes, food chains and water.

Issues arising from this biosphere component of the research can be divided in two broad categories. First, man is considered to be the ultimate receptor of any radioactive releases from the disposal vault.

- * Should man be considered the most important recipient of any radionuclide releases?
- * Should other living organisms in the environment be considered solely as buffers for man or should they be considered entities unto themselves that can be affected by radioactive releases?

Secondly, there are the issues relating to human health and resistance to levels of radiation. The existence of natural background radiation -- radiation from the sun, naturally occurring radioactive elements in the earth, etc. -- and its variations in intensity from place to place have raised issues related to human health. Additions to natural background radiation -- from X-ray machines and radioactive materials used in medicine and industry, the emissions from nuclear power plants, etc. -- further complicate issues relating to effects on man.

Generally, the controversy stems from estimates of the number of health effects induced by added increments of radiation exposure. The argument usually centres about "the linear hypothesis" -- the hypothesis that the number of radiation-induced health effects is proportional to the dose of radiation and that there is no threshold dose below which effects are not found. Agreement or disagreement with "the linear hypothesis" and thresholds are at the root of issues relating to the health effects induced by additional increments in radiation exposure from a disposal vault.

- * How much confidence is there that a threshold level for radiation effects exists?
- * Given the scientific debate with regard to the existence of a threshold or not for radiation effects, which model should we choose?

3.5 PREDICTING PERFORMANCE BEHAVIOUR

According to a recent publication of the Swedish Consultation Committee for Nuclear Waste Management:

"... in order to minimize as much as possible the risk of long-term negative effects on the environment, we must seek to create systems that are closely allied to Nature itself."

Two of the underlying assumptions in the geological disposal concept are that nature (geosphere/biosphere) can provide barriers to the movement of radionuclides and that man can complement nature with the provision of engineered barriers. Accompanying this combination of natural and engineered barriers are a number of uncertainties. Because of the impossibility of demonstrating performance behaviour due to the long period of time for which the facility must function properly, there is the necessity to achieve levels of scientific confidence in the technology through other means. In order for a nuclear fuel wastes disposal program to be implemented, it will be necessary to obtain public understanding and confidence in the technology, as well.

Achieving this level of confidence requires overcoming certain hurdles:

- 1) the identification of all factors which could affect the overall performance of the disposal facility covering a period of at least 10,000 years (in order to satisfy regulatory criteria);
- 2) the identification of the many complex, time-related interactions within and between natural and man-made components of the disposal technology;
- 3) the measurement of both uncertainty and variability arising from inaccurate measurements or incomplete data; and
- 4) the development of a flexible and versatile assessment approach since the focus of the environmental review is a concept of disposal -- rather than a specific site and design.

A number of tools are being utilized throughout the international community to overcome these hurdles and achieve the aforementioned levels of confidence. Unlike the techniques mentioned earlier -- field research, laboratory research and underground research laboratories, etc. -- these tools are designed to "pull-together" information and predict performance behaviour of a conceptual disposal facility.

- * How confident can we be in our predictions when there are so many hurdles?

3.5.1 Models

Modelling of disposal facility components -- packaging, vault, geosphere and biosphere -- is one of the initial steps in characterizing performance behaviour. Models are developed when full knowledge about a component is unavailable. Models, then, are an effort to represent reality using assumptions based on theoretical, laboratory and field test data. A model of the geosphere, for example, has been produced based on experiments with rock samples, deep-hole drilling and the excavation and operation of an underground laboratory. This model, like the others, contains mathematical descriptions of processes which could affect the performance of the disposal facility.

- * Can mathematical descriptions of unknowns be used to make long-term predictions of various phenomena and resultant impacts such as groundwater movement?

3.5.2 Computer Simulations

The interactions between the various components of the disposal facility -- the vault, the geosphere and the biosphere -- pose a separate challenge. Computer simulations are used here to predict performance when more than one model is involved. AECL, for example, has developed SYVAC (the acronym for Systems Variability Analysis Code) a computer program for use in assessing the concept of disposal. SYVAC is designed to consider the uncertainty and variability inherent in the models being assessed and predict over a period of time the performance of the disposal system. Typically such computer simulations provide results in terms of consequences versus the frequency of their occurrence.

- * In addition to a number of other possible shortcomings, how does one protect against human error in conducting computer simulations?

3.5.3 Natural Analogues

An analogue is defined as the comparing of something point by point with something similar. Natural analogues are often used to provide validation support for certain aspects of the models and data and for the overall results of the assessment of disposal. The Oklo natural analogue mentioned earlier in this chapter is a case in point, and is often referred to by proponents of geological disposal.

The Cigar Lake uranium deposit located in northern Saskatchewan is said to have features that are analogous to features of concepts being developed internationally for disposal in igneous rock formations. It is argued that an understanding of this and other natural analogues can provide useful insight into the long-term behaviour of disposal facilities.

- * Are there instances where natural analogues have been used to predict behaviour of a technology, and where that technology, once applied, verified the natural analogue?

CHAPTER FOUR

IMPACTS AND IMPLEMENTATION ISSUES

4.0	<i>Introduction</i>	33
4.1	<i>Storage</i>	34
4.2	<i>Disposal</i>	37
4.3	<i>Packaging of Nuclear Fuel Wastes</i>	40
4.4	<i>Transportation</i>	43
4.5	<i>Impact Measurement</i>	45
4.6	<i>Impact Mitigation</i>	47
4.7	<i>Siting Process</i>	48

4.0 INTRODUCTION

The implementation and operation of any project raises concerns about impacts. The thirty or so years of operating experience with nuclear power plants has resulted in significant amounts of nuclear fuel wastes, and subsequent concerns about the economic, social and environmental impacts of existing and potential management approaches. With any waste management approach, both positive and negative impacts must be considered. In addition, because of the radioactive character of nuclear fuel wastes, both radiological and non-radiological impacts must be addressed. Of course, when contemplating future options for managing nuclear fuel wastes, siting issues also come into play. Approaches to siting as well as identifying, assessing, and mitigating anticipated impacts are therefore very important issues which need to be addressed during any review process.

This chapter looks at impacts and issues arising from the storage, disposal, packaging/immobilization and transportation of nuclear fuel wastes. Following this, brief discussions on impact measurement, impact mitigation, and siting are presented.

4.1 STORAGE

Storage of nuclear fuel wastes refers to a management technique which involves accumulating wastes in wet or dry facilities with the intention of recovering them. This approach is used in all countries which have nuclear power programs.

4.1.1 Current Practice

In Canada, used nuclear fuel is currently stored in water-filled pools at reactor sites. After several years, some of the used fuel is transferred to above-ground dry storage facilities. With suitable maintenance, used fuel bundles can be stored in either wet or dry storage for very long periods of time.

As the amount of used nuclear fuel requiring storage increases over time, two main storage options are available:

- * the on-site facilities at nuclear reactors can be expanded; or
- * the used nuclear fuel can be transported from a number of reactor sites to a centralized storage facility.

The latter approach is being used in Sweden and being considered in the United States.

4.1.2 Economic Issues

When looking at the economic implications of managing nuclear fuel wastes by storing them at a reactor site or centralized facility, a number of issues become apparent.

- * Is it more economical to expand existing storage facilities or to develop a centralized storage facility?

- * Should used nuclear fuel be treated as a unique waste separate from all other wastes at a reactor site?

For example, a resource economics study conducted at Cornell University in the United States of America suggests that in economic terms, keeping used fuel bundles on site over the lifetime of a nuclear reactor and then eventually "entombing" the entire site (including the reactor and used fuel storage facilities) could be cost effective in that costs of transporting the wastes to a centralized storage (or disposal) facility will not be incurred.

4.1.3 Social Issues

With any project or practice, important social issues may arise depending on the distribution of benefits and risks. The current management approach of storing nuclear fuel wastes at reactor sites carries with it certain benefits and risks. For example, residents of Pickering, Ontario enjoy economic and other benefits from hosting a nuclear power plant yet it can be argued that these same residents are at a higher level of risk in the event of an accident or other occurrence. The underlying principle here is that the beneficiaries of an activity (nuclear power generation) should bear a proportionate risk of that activity (the storage of nuclear fuel wastes). If a centralized storage facility is established, the distribution of risks and benefits would change, with the transport of the nuclear fuel wastes becoming a factor in the apportioning of benefits and risks.

Other social issues relating to storage revolve around health and safety.

- * Is the storage of nuclear fuel wastes an appropriate method of management from a health and safety perspective?
- * What are the implications for the general public and workers at the storage site(s)?

- * What are the comparative health and safety implications of the storage of nuclear fuel wastes at reactor sites and at a centralized facility?
- * Should there be different health and safety standards for members of the general public and nuclear industry workers? For example, the exposure limits for radiation for nuclear industry workers are 10 times higher than those for members of the general public in Canada.
- * How should the health effects of storing nuclear fuel wastes be measured? Is it sufficient to monitor reactor and storage sites for routine or accidental emissions of radiation or should health studies be conducted on industry workers and residents in the vicinity of the sites?

4.1.4 Environmental Issues

The environmental impacts of storage of nuclear fuel wastes, whether at reactor sites or at a centralized facility must be considered along with economic and social impacts.

- * How are environmental impacts measured? What factors should be considered in assessing environmental impacts?
- * What are the environmental impacts associated with on-site storage and storage at a centralized facility?
- * Should baseline or preliminary studies be conducted to assess environmental impacts prior to building a storage facility?

4.2 DISPOSAL

Disposal of nuclear fuel wastes refers to a form of management which involves isolating these wastes from the environment with no intention of recovering them. Many disposal methods have been given serious consideration by one or more of the countries which have nuclear power programs. Disposal techniques studied include: launching wastes into space; burying wastes in polar icecaps; burying wastes under the ocean floor; and placing wastes in vaults in deep geological formations. One underlying objective of the search for an appropriate disposal method is to relieve future generations of all or most management responsibilities by developing a permanent approach for managing nuclear fuel wastes.

4.2.1 Current Practice

No commercial disposal facility for used nuclear fuel wastes exists in the world today. Current consensus within the international nuclear community is that deep geological disposal in several different types of geological formations (such as granite, basalt, volcanic tuff, shale, and clay) may be an appropriate long-term method for managing nuclear fuel wastes. Many countries, including Canada, are involved in detailed research programs to assess the appropriateness of geological disposal while several nations (such as the United States) are in the early stages of actually constructing a disposal facility.

4.2.2 Economic Issues

Because an objective of disposal is to relieve future generations of management responsibilities, another dimension is added to the cost of managing nuclear fuel wastes. That is, today's beneficiaries of nuclear power will bear virtually all costs of the long-term management of nuclear fuel wastes if disposal is deemed to be the most appropriate way of dealing with these wastes. These costs are above and beyond those presently incurred with storage.

- * Should the current beneficiaries of an activity be responsible for all costs (including many future costs) associated with that activity?
- * Given that the additional costs of disposal are acceptable, who should pay these costs (the general public, users, etc.) and what should be the method of payment (utility bills, disposal fund, etc.)?
- * Could part of the cost of disposal be covered by recycling used fuel bundles to extract the energy potential before the wastes are prepared for disposal?
- * Should funds be set aside now by today's beneficiaries of nuclear power in order to rectify or mitigate the consequences of an accident or problem at a disposal facility in the future?

4.2.3 Social Issues

An underlying premise of disposal is that future generations should not be burdened by an activity for which they receive few or no benefits. As such, the decision to proceed with the disposal option has social ramifications for both the current generation charged with the responsibility for designing, constructing and operating the disposal facility and future generations who are to be relieved of management obligations.

The Current Generation

- * Is the disposal of nuclear fuel wastes an appropriate way of managing the material from a health and safety perspective? What are the implications for the general public and workers at the disposal site?
- * Do regions, provinces, states and countries which host nuclear power plants have an obligation to dispose of their own nuclear fuel wastes? Should one region, province, state or country accept another's nuclear fuel wastes for disposal in its

facility?

- * Should employment or any other factors override considerations of public health and safety in locating disposal facilities?

Future Generations

- * Should a disposal concept selected by the current generation remove all management obligations from future generations or should provision be made in the design of the concept for monitoring and accessibility capabilities to allow subsequent generations to identify and respond to potential problems?

4.2.4 Environmental Issues

The actual and potential environmental impacts of any disposal concept are of considerable importance in assessing the desirability of that concept.

- * What environmental impacts will result from the construction and operation of the disposal facility? How will local water supplies, biota, etc. be affected?
- * Can we design and engineer barriers (eg. vaults) which will prevent the release of radioactive materials to the environment and remain effective over the long period of time which the wastes will remain hazardous to human beings and the environment?
- * With geological disposal, can we predict and prepare for the possibility of the disruption of geological formations due to earthquakes or other causes which may affect the integrity of the disposal facility?

4.3 PACKAGING OF NUCLEAR FUEL WASTES

It is not necessary to package (or immobilize) used fuel bundles for storage either at reactor sites or at a centralized storage facility. This is because the used fuel bundles are already a solid, highly insoluble waste form.

In preparation for disposal, though, nuclear fuel wastes require additional packaging. Recycled wastes need to be transformed into a highly insoluble solid waste form using glasses and ceramics. As discussed in Chapter 3 both used fuel bundles and recycled wastes have two more packaging stages in preparation for disposal:

- * a waste canister constructed of corrosion-resistant materials; and
- * an overpack, which can be another canister, or a buffer/backfill material that would ultimately separate the waste in a vault from the geological formation.

4.3.1 Current Practice

Packaging of nuclear fuel wastes destined for eventual geological disposal is still in the research and development stage. Scientists in Canada and other countries are currently conducting studies to determine the most effective methods for ensuring that nuclear fuel wastes do not dissolve readily in groundwater.

In their June 1978 joint announcement, the governments of Canada and Ontario directed AECL to conduct immobilization research on both used fuel bundles and recycled wastes. Despite this direction, there was no suggestion made that Canada should proceed with the fuel recycling option. Other countries such as France, the United States and Switzerland have well advanced fuel recycling programs.

4.3.2 Economic Issues

One of the major issues relating to the economics of immobilization is whether or not used fuel bundles should be packaged directly for disposal or recycled first then packaged..

- * Should used fuel bundles be immobilized when economic benefits may be realized by utilizing the energy remaining in used fuel bundles and recycling?
- * Are the economic costs of constructing and operating recycling facilities justified by the energy saved as a result of reprocessing?
- * What are the differences in costs/risks and benefits between recycling solid wastes (garbage) and nuclear fuel wastes?

Other economic concerns relate to how and where immobilization occurs.

- * In economic terms, should the container metal selected depend on its availability, either geographically or cost-wise, or should the safest metal be selected regardless of its availability or cost?
- * Would immobilization be more cost effective when undertaken at reactor sites, a centralized storage facility or at the ultimate disposal site(s)?

4.3.3 Social Issues

Building and operating an immobilization facility would result in social impacts.

- * What are the health and safety implications of immobilization facilities for members of the general public and industry workers?

- * What impacts would an immobilization facility have on day-to-day life in the host community?
- * If recycling occurs before immobilization, what effects will this have on employment in the uranium mining sector which has traditionally supplied the raw materials for use in nuclear fuel bundles?
- * What are the comparative health effects of immobilizing used fuel bundles and recycle wastes?

4.3.4 Environmental Issues

The nature and extent of environmental impacts resulting from packaging activities would likely vary depending on whether the operation involves used fuel bundles or the gaseous, solid and liquid wastes which are created during recycling.

- * What are the environmental impacts associated with immobilizing used fuel wastes?
- * What are the environmental impacts of recycling used fuel bundles and then immobilizing the wastes resulting from these procedures? For example, negative environmental impacts (such as leakage of radioactive materials into water supplies) have been experienced at immobilization facilities in the United States (West Valley, New York) and Great Britain (Sellafield), raising questions about the ability to manage the recycling wastes.

4.4 TRANSPORTATION

The transport of nuclear fuel wastes would be necessary when:

- * storage is at a centralized facility;
- * immobilization is at a site other than the reactor site; or when
- * a disposal site(s) has been selected and developed.

In order to transport the nuclear fuel wastes, they would have to be removed from their current storage location, prepared and loaded on some sort of vehicle, shipped to a specific destination, and unloaded upon arrival at that destination.

4.4.1 Current Practice

Although not in large volumes, nuclear fuel wastes are currently being transported by various means in countries which have nuclear power programs. In Canada, for example, there have been more than 500 shipments of used fuel bundles during the past 25 years, mostly to and from research facilities. Both casks that carry two used fuel bundles and larger containers that hold about 25 bundles have been used. More recently, the Atomic Energy Control Board has licensed a prototype transportation cask which can carry 196 used fuel bundles, although its use has not gone beyond the testing stage.

- * How does this prototype transportation cask compare to what is being considered in other countries?

In most countries, nuclear fuel wastes are transported by truck and this is the case in Canada. Sweden has developed a transport cask for use on trucks but currently moves its nuclear fuel wastes to a central storage facility by ship. Researchers in the United States are presently developing designs for casks which could be transported by rail or barge.

4.4.2 Economic Issues

In Canada, transportation costs relating to used nuclear fuel wastes are relatively low as the wastes are currently stored at reactor sites. Any movement away from this practice will result in a substantial increase in the transportation cost component of managing nuclear fuel wastes.

- * Are the additional costs of transporting nuclear fuel wastes to a centralized storage or disposal facility justified when compared with the economic benefits of constructing and operating such a facility? For example, procuring a fleet of transport carriers, obtaining service contracts for training, security inspection and maintenance, and establishing emergency response capabilities would all involve substantial costs.
- * In economic terms, which mode of transport -- road, rail, water -- would be the most cost effective means of transporting wastes?

4.4.3 Social Issues

The movement of nuclear fuel wastes implies impacts on the population at large as well as on individuals and businesses along the transportation corridors.

- * What are the health and safety implications for the general public and industry workers of transporting nuclear fuel wastes?
- * How will transportation routes be selected? For example, routing transportation corridors through populated versus relatively unpopulated areas raises numerous social issues in relation to the individual, family/household, community and region. These social issues include concerns about health and safety, risk of accidents, potential for property devaluation, adequacy of emergency response, and liability.

- * How will shipments occur? Scheduling of shipments and whether or not convoys are utilized for these shipments have important implications for people in the areas through which nuclear fuel wastes will be transported.

4.4.4 Environmental Issues

Protecting the environment during transportation involves minimizing the number of times the nuclear fuel wastes are handled and finding the most environmentally-sound type of transport system.

- * What are the actual and potential environmental impacts of transporting nuclear fuel wastes? Has provision been made for the potential occurrence of accidents with very severe consequences (i.e. planning for the "worst case scenario")?
- * Would a water-based or land-based transport system pose less risk to the environment?
- * In order to minimize the potential for the release of radioactive materials to the environment, should the transportation cask or container and the immobilization canister be one and the same?

4.5 IMPACT MEASUREMENT

The above discussion illustrates the economic, social and environmental impacts and many related issues associated with managing nuclear fuel wastes. The identification and categorization of these impacts and issues are difficult tasks given the complex interrelationships between the different types of impacts. Even more difficult is attempting to measure the economic, social and environmental impacts relating to the management of nuclear fuel wastes.

Various techniques and methods have been developed to measure and assess economic, social and environmental impacts. For measuring economic impacts, formal approaches such as risk-cost-benefit analysis have been widely used. Social impact assessment and environmental impact assessment methodologies have been employed to gauge social and environmental impacts. However, there is no clear consensus among the practitioners of these techniques as to what type of impacts should be assessed and how these impacts should be measured.

- * What are the similarities and differences in international approaches to risk-cost-benefit analysis, social impact assessment and environmental impact assessment?
- * Do the radiological implications of nuclear fuel wastes complicate the measurement and assessment of economic, social and environmental impacts?

With respect to managing nuclear fuel wastes, the measurement of economic, social and environmental impacts is further complicated by the many different viewpoints which exist in society about the relative benefits and risks associated with nuclear energy in general and with certain methods (including storage and disposal) of managing nuclear fuel wastes in particular. Much has been written about these different views of benefits and risks, with the phenomenon of risk perception receiving considerable attention. Risk perception refers to the intuitive evaluation and interpretation of risks. The way in which risks are perceived generally depends on one's past experiences and outlook on life, among other things. Different people and groups of people perceive different risks in many different ways. The perception of risk, therefore is often a personal and/or social judgement. Another complicating factor is the complex and highly specialized nature of nuclear technology and the difficulty for the general public to understand and comprehend it. As a result, assessing and measuring the anticipated impacts of a major undertaking, such as a facility for managing nuclear wastes, is for the most part a very challenging endeavour.

- * What means are available for taking the perception of risk into consideration when attempting to measure impacts?

- * Who should be responsible for identifying and measuring risk?

4.6 IMPACT MITIGATION

Efforts to mitigate, or lessen, the anticipated impacts of a facility for the management of nuclear fuel wastes involve equally complex issues. These are complicated by the potential length of time over which mitigation measures might be appropriate and the fact that the potential recipients of such mitigation might include several generations of residents.

In general, mitigation measures are beneficial to developers, local communities, and to society at large to the extent that they result in the more efficient, equitable, and expeditious construction of essential projects. Mitigation usually involves measures to minimize demands on local systems, to enhance the capacity of local systems, to compensate communities/individuals or to provide incentives to local interests.

A complex range of alternatives has been used to mitigate the impacts of other large-scale projects (e.g., property value protection, notification, preferential hiring, nuisance effect measures, local control of monitoring facilities), but which mitigation alternatives may be most appropriate for the selected management approach to nuclear fuel wastes is open to debate. Even more difficult is the question of who should be compensated. Although some interests should clearly be compensated (e.g., landowners, local government), other parties such as residents some distance from routes or facilities or future generations of local residents raise more perplexing questions.

- * Given that there are/will be impacts in the management of nuclear fuel wastes and mitigation measures are desirable, should monitoring be part of the management approach?

- * If so, what should be monitored and for what periods of time (in order to measure the effectiveness of mitigation measures including technical components of the system)?

4.7 SITING PROCESS

Many of the issues related to siting have been touched on in earlier parts of this paper. However, given the perplexing nature of facility siting including technical requirements; economic, social and environmental impacts; individual perceptions of impacts; and the various mitigation opportunities available, the process by which sites for facilities are selected becomes an issue in itself.

Assuming that a siting agency has to be established (its make-up, whether private or public, international or national, are issues in themselves), a range of three alternative siting processes exist. The issues inherent in each alternative cited here are complex and interrelated.

4.7.1 Siting Agency Initiative

Here the siting agency makes the decision on the location of facilities (e.g., storage, transport routes, disposal facility) using a combination of scientific/technical, geological, economic, social, and environmental information about the site(s), route(s) and the potential impacts of the activity upon the community.

- * Is a siting process initiated from the top down the most appropriate strategy?

4.7.2 Siting by Mediation

The siting agency makes the decision as in 4.7.1 but provides the community with an intervenor or advocate to argue the community's case within the agency's decision-making framework. Presumably, the community would argue against selection, or the intervenor might be assigned specifically to argue the case for special segments within the community, such as the elderly.

4.7.3 Community-Based Siting

The siting agency invites communities to engage in an auctioning process, with mitigation or compensation being the price paid by the siting agency to obtain acceptance. In this case, all potential communities would be informed that they were eligible and they would be advised of the forms of compensation packages available. The communities would be required to present bids consisting of compensation packages that would make the facility acceptable to them. The siting agency would then select the site.

- * Is a siting process initiated from the bottom up, as in the case with Canada's Siting Process Task Force on Low Level Radioactive Waste Disposal, the most appropriate strategy?

Of course, the siting process ultimately employed may involve elements from each of the alternatives outlined above.

SUGGESTED FURTHER READING

This section provides a list of additional suggested readings on issues related to the management of nuclear fuel wastes. The readings cited are generally intended for public consumption. The reading materials are accompanied by a brief summary of their content.

Acres International Limited. A Review of Various Approaches Being Undertaken by Industrialized Nations for the Management and Disposal of High-Level Nuclear Waste. Niagara Falls: A Report Prepared for the Federal Environmental Assessment Review Office, 1989.

A comprehensive report on major international research and development programs for the management and disposal of nuclear fuel wastes. Also covers international agreements for cooperation in research and development activities.

Armour, Audrey. Socially Responsive Impact Management: A Discussion Paper. Ottawa: Report to the Siting Process Task Force on Low-Level Radioactive Waste Disposal, 1987.

This discussion paper reviews a number of impact management approaches that have been and could be implemented. These measures are related to the whole issue of public resistance to the siting of unwanted facilities.

Atomic Energy Control Board. Regulatory Policy Statement. Deep Geological Disposal of Nuclear Fuel Waste: Background Information and Regulatory Requirements Regarding the Concept Assessment Phase. Ottawa: Regulatory Document R-71. January 29, 1985.

A representative regulatory document from the AECB designed to guide AECL in the assessment of the geological disposal concept for nuclear fuel wastes. While outlining the regulatory process, it highlights some of the technical and impact issues that must be addressed by a proponent.

Brisco, Bob et al. High-Level Radioactive Waste in Canada: The Eleventh Hour. Ottawa: Report of the Standing Committee on Environment and Forestry on the Storage and Disposal of High-Level Radioactive Waste, 1988.

One of several reports over the last decade or so addressing the subject matter of nuclear fuel wastes from the point of view of the process by which decisions are and should be made. The report contains several recommendations related to this process.

Brundtland, Gro Harlem et al. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, Report of the World Commission on Environment and Development, 1987.

A United Nations project, the report overviews a number of environmental problems including waste management in an international context. It makes recommendations to ensure that human progress will be sustained through development without bankrupting the resources of future generations.

Cobb, Charles E. Jr. "Living with Radiation". National Geographic (April 1989): 403-437.

A good general overview of the nature of radiation, history of its use and international experiences in the beneficial and hazardous applications of radiation.

Hare, F. K. et al. The Management of Canada's Nuclear Wastes. Ottawa: Report of a Study Prepared Under Contract for the Minister of Energy, Mines and Resources, 1977.

This report was commissioned to make a number of recommendations to the government on the management and disposal of nuclear fuel wastes. Many of its recommendations form the basis of AECL's research activities regarding nuclear fuel wastes.

Johnson, Harry and Marvis Tutiah. Radiation is Part of Your Life. Atomic Energy of Canada Limited: Whiteshell Nuclear Research Establishment. Pinawa, Manitoba, 1985.

A layman's guide to the different kinds of radiation, its measurement and associated risks. Brief discussion of international standards for human exposure to radiation.

Kasperson, Roger E., ed. Equity Issues in Radioactive Waste Management. Cambridge, Massachusetts: Oelgeschlager, Gunn & Hain, Publishers, Inc., 1983.

Equity relates to the concept of fairness. This collection of articles looks at equity issues from three perspectives: geographical, intergenerational and the general public versus nuclear industry employees.

Murdock, S. H. et al. Nuclear Waste: Socioeconomic Dimensions of Long-Term Storage. Boulder, Colorado: Westview Press, 1983.

This book examines the socioeconomic implications of the management of nuclear fuel wastes and the siting of a disposal facility. While several of the issues addressed in this book are nuclear-related, many are applicable to other types of large, long-term management programs and problems.

**LA GESTION DES DÉCHETS DE
COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE**

Avril 1989

Environmental Management Strategists

720 Bathurst Street, Unit 403
Toronto, Ontario M5S 2R4
(416) 536-9161 Fax.: (416) 536-9787



"Plusieurs technologies en particulier semblent soulever des questions sans précédent auprès du public, sinon auprès de ceux qui pratiquent ces technologies. Après examen, on se rend compte toutefois qu'aucune de ces technologies n'impliquent vraiment des problèmes entièrement nouveaux; il s'agit plutôt d'une combinaison de questions et d'incertitudes qui les font transcender ou confondre nos modes actuels d'évaluation de choix social."

Kasperson

"C'est à ce moment qu'un grand nombre de techniciens et de scientifiques éprouvent des frustrations de plus en plus grandes alors qu'ils se heurtent à une multitude d'objections de nature non scientifique. Bien sûr, le profane éprouve des frustrations similaires lorsque les ingénieurs et les techniciens s'obstinent à discuter de questions d'une valeur profonde dans des termes techniques étroits."

Colglazier et al.

TABLES DES MATIERES

Préface	v
Glossaire des expressions	vii
 Chapitre 1 Présentation générale	 1
1.0 Introduction	1
1.1 Concepts de base de la radioactivité	2
1.2 Les déchets de combustible nucléaire: La nature du problème	3
1.3 La gestion actuelle des déchets de combustible nucléaire	5
1.4. Les déchets de combustible nucléaire: Le contexte international	7
1.5 Les origines de la proposition de l'EACL	8
1.6 Processus d'examen et d'évaluation en matière d'environnement	12
 Chapitre 2 Le processus décisionnel	 15
2.0 Introduction	15
2.1 Le besoin d'un programme à long terme	18
2.2 Équité du processus	18
2.3 Possibilités/crédibilité/responsabilité des participants	20
2.4 Honnêteté du processus décisionnel	21
2.5 Solutions de rechange à l'évacuation géologique	21

Chapitre 3	La technologie de l'évacuation	23
3.0	Introduction	23
3.1	Compréhension du débat	23
3.2	Châteaux de transport	25
3.3	Emballage des déchets de combustible nucléaire	28
3.4	Évacuation	30
3.5	Comment prédire l'efficacité du système	36
Chapitre 4	Les questions d'impacts et de mise en oeuvre	40
4.0	Introduction	40
4.1	Entreposage	41
4.2	Évacuation	45
4.3	Emballage des déchets de combustible nucléaire	48
4.4	Transport	52
4.5	Mesure des impacts	55
4.6	Réduction des impacts	57
4.7	Processus de choix des sites	59
	Ouvrages supplémentaires suggérés	61

PRÉFACE

Lors de la préparation du processus d'examen et d'évaluations en matière d'environnement concernant l'évacuation géologique en profondeur des déchets de combustible nucléaire, le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales a retenu les services du groupe LURA pour préparer un document sur la gestion des déchets de combustible nucléaire.

Ce document entend favoriser et encourager l'intérêt et la compréhension du public et l'amener à discuter des questions relatives à la gestion des déchets de combustible nucléaire, qui seront soulevées dans le cadre du processus d'examen et d'évaluation en matière d'environnement. Toutefois, étant donné la complexité des questions discutées et le débat intense soulevé par l'énergie nucléaire, ce document a nécessairement une portée restreinte et ne prétend pas être complet ni exhaustif.

Ce document n'est pas conçu pour répondre aux questions qui feront l'objet de l'examen, cette responsabilité incombe à d'autres. Il se contente plutôt de fournir un exposé de base sur la nature et la portée de l'étude et sur les questions pertinentes à la gestion des déchets de combustible nucléaire. Les points soulevés sont corrélatifs et bien que nous ayons tenté de souligner un grand nombre des rapports qui existent entre les différents points, il serait impossible de montrer tous les lieux de réciprocité et d'interdépendance.

Conformément au mandat concernant le processus d'examen et d'évaluation en matière d'environnement, ce document ne traite pas des questions relevant des politiques énergétiques du Canada et des provinces ni du rôle de l'énergie nucléaire dans le cadre de ces politiques, y compris la construction, l'exploitation et la sécurité des centrales nucléaires; le traitement des combustibles; ou les applications militaires de la technologie nucléaire.

Ce document ne traite pas non plus en détail des aspects scientifiques et technologiques précis de l'évacuation des déchets de combustible nucléaire ou d'autres options de gestion. Le lecteur peut se procurer les documents publiés par Énergie atomique du Canada, Limitée, le promoteur, ou le document "Un examen des diverses techniques utilisées par les nations industrialisées pour la gestion et l'évacuation des déchets nucléaires à fortes activités" préparé pour le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales par Acres International Limitée. Nous suggérons, en outre, une liste d'ouvrages de référence qui aideront le lecteur à mieux comprendre les points traités. Nous fournissons aussi un glossaire des termes techniques utilisés dans ce document.

Le Chapitre 1 présente une vue générale sur la nature des déchets de combustible nucléaire et leur gestion. Les chapitres suivants traitent des questions se rapportant à la gestion des déchets de combustible nucléaire. Le Chapitre 2 soulève les questions relatives aux processus de prise de décisions quant à la question des déchets de combustible nucléaire. Le Chapitre 3 cerne les questions se rapportant au concept de l'évacuation géologique alors qu'au Chapitre 4, on traite de questions économiques, sociales et environnementales que soulève la gestion des déchets de combustible nucléaire en général.

Toute question découlant de ce document devrait être adressée à:

Robert G. Connelly
Directeur régional principal
Bureau fédéral d'examen des
évaluations environnementales
13^e étage, Édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Coeur
Hull (Québec) K1A 0H3

(819) 997-2711

GLOSSAIRE DES EXPRESSIONS

Les expressions et acronymes suivants sont utilisés fréquemment dans ce document.

Actinide:	Un élément plus lourd que l'uranium créé lorsque l'atome d'uranium absorbe un neutron sans qu'il y ait fission.
AIEA:	Agence Internationale de l'Énergie Atomique.
Analogue:	Tout ce qui est similaire en caractère et en fonction par rapport à quelque chose d'autre.
Assurance:	Les mesures systématiques propres à assurer à un degré suffisant de confiance qu'un article, une installation ou une personne donnera un service satisfaisant.
Biosphère:	La zone de vie de la terre, y compris l'écorce terrestre, les plantes et les animaux, les couches sous-jacentes à l'écorce terrestre jusqu'à la limite de l'activité biologique, la partie inférieure de l'atmosphère, les étendues d'eau de surface et leurs sédiments. La biosphère comprend l'habitat humain ou l'environnement dans son sens le plus vaste.
CANDU:	<u>CAN</u> ada <u>D</u> euterium <u>U</u> ranium (Réacteur canadien à uranium-deutérium). Un réacteur de conception canadienne qui utilise actuellement du combustible d'uranium naturel.
CCEA:	Commission de contrôle de l'énergie atomique.
Déchets de combustible nucléaire:	Faisceaux de combustible usé provenant d'un réacteur ainsi que les déchets de combustible recyclé.
Déchets de combustible recyclé:	Déchets résultant du traitement de combustibles.
Demi-vie, radioactive:	Le temps au cours duquel la moitié des atomes d'un élément donné se détériorent.
EACL:	Énergie atomique du Canada, Limitée.
Entreposage:	Placement des déchets dans une installation avec l'intention de les récupérer plus tard.

Évacuation:	Placement des déchets dans une voûte ou un emplacement donné sans aucune intention de récupération.
Faisceau de combustible:	Un groupe de tubes de métal contenant du combustible d'uranium sous forme de boulettes.
Faisceau de combustible usé:	Un faisceau de combustible qui a été enlevé d'un réacteur nucléaire.
Fission:	L'éclatement d'un noyau d'atome en deux parties égales avec dégagement d'une grande quantité d'énergie. Peut être spontanée ou provoquée par des neutrons qui frappent le noyau.
Géosphère:	La portion extérieure solide de la croûte terrestre.
Hydraulique:	Actionné par le mouvement et la pression d'un liquide.
Immobilisation/ emballage:	Le traitement des déchets radioactifs pour les convertir en une forme qui réduit le potentiel de migration ou de dispersion des radionucléides durant l'entreposage, le transport et l'évacuation.
Modélisation:	En informatique, l'établissement ou l'application d'un modèle pour comprendre un système physique, biologique ou géologique auquel il est analogue d'une certaine façon.
Modèle:	En informatique ou en mathématiques appliquées, une représentation analytique ou mathématique ou la quantification d'un système réel et les moyens par lesquels ce phénomène se produit dans le système.
Perméabilité:	La capacité pour une roche, par exemple, de transmettre l'eau ou d'autres fluides.
Produit de fission:	Un nucléide produit soit directement par fission nucléaire, soit par la décomposition radioactive subséquente d'un radionucléide produit par fission.
Radiation:	L'émission de particules atomiques ou rayons très rapides par les noyaux. Certains éléments sont naturellement radioactifs alors que d'autres deviennent radioactifs après le bombardement par des neutrons ou autres particules. Les quatre

principales formes de radiation sont les particules alpha et bêta, les neutrons et les rayons gamma.

- Radionucléide:** Un élément chimique radioactif.
- Recyclage:** La réutilisation des matériaux fissibles provenant des faisceaux de combustible usé dans un nouveau combustible de réacteur après qu'il ait été récupéré par traitement chimique.
- Remblai:** Dans une voûte d'évacuation des déchets, le matériau qui est utilisé pour remplir les espaces vides une fois que les emballages de déchets et les matériaux tampon ont été mis en place. Le remblai est constitué généralement d'un mélange d'argile, de sable et peut-être de gravier et de roche concassée.
- Roche intrusive ignée:** Une roche formée par la solidification de matériaux en fusion qui s'est incrustée dans une formation rocheuse déjà en place. Ce type de roche se retrouve dans le bouclier canadien.
- Simulation:** En termes généraux, la reproduction de certains ou de tous les aspects du fonctionnement d'un système avec un système différent.
- SYVAC:** SYstems Variability Analysis Code. Un ensemble de programmes informatiques rédigés par l'EACL qui réalise des calculs sur l'efficacité à long terme du système d'évacuation.
- Tampon:** Une barrière entourant les contenants de déchets dans une voûte d'évacuation des déchets et comprenant des matériaux très absorbants conçus pour retarder le mouvement de l'eau et la corrosion du contenant ainsi que la dissolution du combustible et la migration des radionucléides.
- Transport géologique:** Le mouvement d'un matériau radioactif ou autre dans la géosphère. Le mécanisme le plus commun est le mouvement des matériaux dissous dans l'eau souterraine à travers les fractures dans les formations géologiques avoisinantes.
- Voûte d'évacuation:** Une chambre souterraine utilisée pour éliminer les déchets de combustible nucléaire.

CHAPITRE UN

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1.0	Introduction	1
1.1	Concepts de base de la radioactivité	2
1.2	Les déchets de combustible nucléaire: La nature du problème	3
1.3	La gestion actuelle des déchets de combustible nucléaire	5
1.4	Les déchets de combustible nucléaire: Le contexte international	7
1.5	Les origines de la proposition de l'EACL	8
1.6	Processus d'examen et d'évaluation en matière d'environnement	12

1.0 INTRODUCTION

Parmi les nombreux progrès technologiques qui ont pris place au cours du XX^e siècle, peu ont évoqué un débat aussi vaste et aussi intense que la technologie associée à la fission nucléaire et particulièrement à son utilisation pour la production d'énergie. Un des facteurs qui inquiètent le public en ce qui concerne l'énergie nucléaire est l'absence d'une méthode éprouvée pour la gestion à long terme des combustibles usés provenant des réacteurs nucléaires. On prétend que les décisions relatives à la gestion des déchets de combustible nucléaire hautement radioactifs constituent pour notre société l'un des défis de l'heure. Il est évident qu'il n'y a pas de solutions simples. Il existe autant de méthodes pour la gestion des déchets de combustible nucléaire qu'il y a de pays qui utilisent l'énergie nucléaire. Comme le faisait remarquer la Commission mondiale sur le développement environnemental en 1987:

Les programmes civils d'énergie nucléaire dans le monde entier ont déjà créé des milliers de tonnes de combustibles usés et de déchets fortement radioactifs. De nombreux gouvernements ont entrepris des programmes d'envergure pour mettre au point des procédés qui leur permettraient d'isoler ces déchets de la biosphère durant les centaines de milliers d'années qu'ils resteront dangereusement radioactifs.

Mais le problème de l'évacuation des déchets nucléaires n'a toujours pas été résolu. La technologie des déchets nucléaires a atteint un niveau extrêmement perfectionné. Cette technologie n'a toutefois pas été entièrement testée ou utilisée, et l'évacuation de ces déchets demeure problématique.

Au Canada, comme partout dans le monde, les centrales nucléaires ont créé une quantité importante de déchets de combustible nucléaire. Il n'y a toutefois aucun consensus solide au Canada en ce qui concerne la gestion à long terme de ces déchets. Sous la direction du gouvernement du Canada, Énergie atomique du Canada, Limitée (EACL), a proposé, après une décennie de recherches, un concept qui implique l'enfouissement des déchets de combustible nucléaire à 400 mètres ou plus dans la roche intrusive ignée du Bouclier canadien. Étant donné que ces déchets posent des risques à la santé de l'homme et qu'ils peuvent causer des dommages à l'environnement pendant des milliers d'années, toute technique de gestion doit faire l'objet d'une étude des plus rigoureuses et d'un examen public, minutieux et complet. Le concept d'évacuation proposé par l'EACL doit donc être étudié dans le cadre du processus fédéral d'examen et d'évaluation en matière d'environnement (PEEE).

1.1 CONCEPTS DE BASE DE LA RADIOACTIVITÉ

L'un des aspects les plus difficiles, lorsqu'il s'agit de décider comment gérer les déchets de combustible nucléaire, provient du fait que ces déchets sont fortement radioactifs. Les radiations sont invisibles, inodores et imperceptibles. Toutefois, les cellules des êtres humains, des animaux ou des plantes qui y sont

exposées peuvent être endommagées ou détruites. L'exposition à la radiation peut causer des blessures aux êtres humains ou aux animaux et entraîner des mutations génétiques. Il est donc très important de s'assurer que les déchets de combustible nucléaire ne puissent pas contaminer l'environnement.

La radioactivité n'est pas un phénomène simple. Il s'agit de la propriété inhérente à certains atomes dont le noyau se décompose spontanément pour produire de nouvelles structures atomiques tout en dégageant des radiations. Les déchets de combustible nucléaire sont constitués d'un mélange d'éléments radioactifs qui se décomposent à des rythmes différents, qui s'expriment en terme de demi-vie de l'élément radioactif. La demi-vie est le temps requis pour la décomposition de la moitié des atomes d'un élément donné. La durée pendant laquelle un élément reste radioactif dépend de la rapidité avec laquelle il se décompose. Le plutonium²³⁹, par exemple, a une demi-vie de 24 390 ans, ce qui signifie qu'il dégagera des radiations pendant des dizaines de milliers d'années. En effet, après presque 25 000 ans, la moitié des atomes émettront encore de la radioactivité. L'iode¹³¹, d'autre part, a une demi-vie de huit jours, c'est-à-dire qu'après un an environ, il ne restera que des traces de cette substance.

1.2 LES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE: LA NATURE DU PROBLÈME

Les déchets de combustible nucléaire se composent de faisceaux de combustible usé provenant des réacteurs ou des déchets provenant du recyclage de ces faisceaux, lequel permet d'en extraire les matériaux fissibles afin de les utiliser à nouveau dans le combustible du réacteur. Les étapes menant à la production de ces déchets sont les suivantes:

Le combustible d'uranium se fabrique à partir d'oxyde d'uranium raffiné par des fabricants canadiens qui le compriment et

l'agglomèrent en boulettes de combustible pour l'enfermer hermétiquement dans des tubes de métal (alliage de zirconium). Ces tubes, groupés en grand nombre, constituent un faisceau de combustible, et il faut plusieurs milliers de ces faisceaux pour alimenter un réacteur nucléaire **CANDU** (CANada Deuterium Uranium) en combustible.

Durant le fonctionnement du réacteur, les noyaux de certains atomes d'uranium²³⁵ contenus dans les boulettes de combustible absorbent les neutrons et se séparent (fission), dégageant de grandes quantités d'énergie. Le processus de fission produit de la chaleur et des radiations et dégage d'autres neutrons qui occasionnent la fission d'un plus grand nombre d'atomes d'uranium dans une réaction en chaîne. La chaleur produite par ce processus de fission continu est utilisée pour transformer l'eau en vapeur qui, à son tour, produit de l'électricité.

Pendant ce temps, de nouveaux éléments radioactifs, appelés produits de fission et actinides, se forment dans le faisceau de combustible. Les actinides sont des éléments plus lourds que l'uranium; ils se forment chaque fois que l'atome d'uranium absorbe un neutron sans que la fission se produise. L'actinide le plus souvent créé est le plutonium²³⁹, élément fissile qui peut aussi produire de l'énergie dans le réacteur et servir de combustible par la suite.

Par contre, les produits de fission interrompent la réaction en chaîne en absorbant les neutrons et en les empêchant de produire la fission des atomes d'uranium. Lorsqu'il y a une trop grande accumulation de produits de fission dans un faisceau de combustible -- après un an et demi environ -- il devient inefficace. Au bout de 18 mois, environ 70 pour 100 de l'uranium²³⁵ contenu dans le faisceau de combustible est épuisé, et ce dernier doit être remplacé par un faisceau renfermant une nouvelle réserve d'uranium.

Les faisceaux de combustible usé sont à peu près identiques aux faisceaux de combustible non usé, mais ils sont hautement radioactifs, dégagent des quantités considérables de chaleur et sont appelés "déchets de combustible nucléaire".

La radioactivité des faisceaux de combustible usé est causée par les résidus d'uranium²³⁵ ainsi que par de nouveaux atomes instables dans le combustible. Au fur et à mesure que ces atomes se détruisent, le niveau de radioactivité baisse. Les déchets de combustible nucléaire sont 100 fois moins radioactifs après un an et 1 000 fois moins radioactifs après dix ans. La majorité des produits de fission dans le combustible usé ont des demi-vies très courtes et se dégraderont en formes stables en 500 ans. Après cela, la radioactivité résiduelle est surtout attribuable aux actinides, dont les demi-vies sont beaucoup plus longues.

La dégradation dégage aussi de l'énergie, si bien qu'un faisceau de combustible usé produit de la chaleur -- 2 000 watts à la sortie du réacteur. La production diminue rapidement à 60 watts (la chaleur d'une ampoule d'éclairage ordinaire) après un an.

1.3 LA GESTION ACTUELLE DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Depuis 1965, les réacteurs CANDU de fabrication canadienne ont fourni de la chaleur par le processus de fission nucléaire pour produire de la vapeur afin de faire tourner les turbines et fabriquer de l'électricité. Pour plus de simplicité, l'électricité produite par les réacteurs nucléaires est appelée énergie nucléaire. En 1986, l'énergie nucléaire a satisfait 15 % des besoins du Canada en électricité. Jusqu'à maintenant, les déchets de combustible nucléaire ont été entreposés au point même où ils ont été créés jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit mise au point pour leur gestion à long terme. L'entreposage peut être défini comme "la mise en réserve des matériaux avec l'intention de

les récupérer". À la fin de 1987, plus de 12 400 tonnes métriques de déchets de combustible nucléaire étaient entreposées dans les centrales nucléaires canadiennes. Cette quantité couvrirait une patinoire de hockey jusqu'à une profondeur d'environ un mètre. D'ici l'an 2000, il y a aura 42 000 tonnes en entreposage.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, lorsqu'on les retire du réacteur nucléaire, les faisceaux de combustible usé sont fortement radioactifs et ne peuvent pas être manipulés directement par des êtres humains. Ils sont donc retirés des réacteurs des centrales nucléaires canadiennes par télécommande et entreposés dans de profonds bassins remplis d'eau. Une fois immergés, les faisceaux sont placés dans des paniers d'entreposage à l'intérieur d'une structure ou cage, conçue de façon que l'eau puisse circuler librement autour des faisceaux.

Le combustible nucléaire usé émet des rayons gamma et des particules alpha et bêta. Étant donné que les faisceaux de combustible entreposés restent intacts et isolés, l'homme n'est pas exposé aux particules alpha et bêta émises par les matériaux radioactifs. Les radiations gamma pénétrantes sont bloquées par environ 4 mètres d'eau au-dessus des piles de combustible.

Après cinq ans d'immersion, les faisceaux de combustible usé sont suffisamment refroidis pour être transférés dans un système d'entreposage à sec. Des boîtes d'entreposage en surface ont été créées à cet usage. Leurs parois en béton, d'un mètre d'épaisseur, empêchent la sortie des radiations. Qu'il s'agisse de l'entreposage sous l'eau -- qui constitue la forme principale d'entreposage -- ou de l'entreposage à sec, les faisceaux de combustible usé peuvent être conservés très longtemps - au moins 50 ans -- à condition qu'ils soient bien entretenus.

Au Canada, les activités se rapportant à la gestion des déchets de combustible nucléaire sont soumises à un contrôle réglementaire administré par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCÉA). Le CCÉA est une société fédérale de la Couronne créée à la suite de l'adoption de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique (1946) pour contrôler et surveiller la mise au point, l'application et l'utilisation de l'énergie nucléaire. Dans son rôle normatif, le CCÉA est chargée de l'établissement des normes de sécurité, de l'émission des permis et de la surveillance des centrales nucléaires et des installations de gestion des déchets.

1.4 LES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE: LE CONTEXTE INTERNATIONAL

Comme c'est le cas au Canada, la plupart des pays possédant des centrales nucléaires gèrent actuellement leurs déchets de combustible nucléaire en les entreposant sous l'eau à proximité des réacteurs. Certains pays, tels que la Suède et les États-Unis, ont déjà construit ou envisagent de construire des installations centralisées pour entreposer les déchets de combustible nucléaire provenant des réacteurs. Toutefois, la communauté nucléaire internationale reconnaît, en général, que l'entreposage sous l'eau ne constitue qu'une méthode provisoire de gestion des déchets de combustible nucléaire.

On a surtout cherché un moyen convenable d'évacuer les déchets de combustible nucléaire. L'évacuation peut se définir comme "une forme de gestion sans aucune intention de récupération". À l'heure actuelle, il n'y a aucune installation d'évacuation en exploitation dans le monde. La communauté nucléaire internationale penche en faveur du stockage des déchets de combustible nucléaire dans des formations géologiques en tant que méthode de gestion à long terme. À l'échelle internationale, diverses méthodes d'évacuation des déchets de combustible nucléaire ont été explorées, notamment:

- * la transmutation des radionucléides stables ou à courte vie;
- * l'évacuation en surface;
- * l'évacuation extraterrestre;
- * l'évacuation géologique dans les couches de glace continentales;
- * l'évacuation dans le lit de la mer; et
- * l'évacuation géologique souterraine.

L'évacuation souterraine impliquerait le stockage des déchets de combustible nucléaire dans une voûte profonde, minée d'une façon conventionnelle, dans une formation géologique de la terre. Cette formation géologique fournirait la protection nécessaire en absorbant et en dispersant la chaleur tout en prévenant l'intrusion par l'homme. Plusieurs hôtes potentiels ont été étudiés y compris: l'argile (Belgique), le schiste argileux (Italie, Belgique), le tuff volcanique (États-Unis d'Amérique), le basalte (États-Unis d'Amérique), le sel (République fédérale allemande), et la roche ignée (Canada, Suède, Suisse).

1.5 LES ORIGINES DE LA PROPOSITION DE ÉACL

Avant les années 70, tous les efforts et l'argent disponibles dans l'industrie nucléaire étaient virtuellement consacrés à la mise au point d'un système de production sûr et économique pour les centrales nucléaires. La question de la gestion des déchets de combustible nucléaire recevait alors tout juste assez d'attention pour assurer un entreposage provisoire. En 1972, la création du Comité d'évaluation de l'entreposage des combustibles -- auquel appartenaient ÉACL, Ontario Hydro et Hydro-Québec -- a marqué les étapes initiales en vue de la solution à long terme concernant la gestion des déchets de combustible nucléaire.

Ce comité a recommandé que tous les déchets radioactifs soient entreposés dans des installations provisoires permettant la récupération et bénéficiant d'une surveillance constante jusqu'à ce que des méthodes d'évacuation soient trouvées. Il recommanda la mise au point d'installations d'entreposage en surface en tant que méthode de gestion provisoire des déchets. Ces installations fourniraient une capacité d'entreposage supplémentaire s'ajoutant aux installations d'entreposage sous l'eau existant déjà sur les sites des réacteurs. Pour l'évacuation permanente, l'installation des déchets de combustible nucléaire dans des formations géologiques telles que le sel était recommandée comme point saillant du programme de recherche.

En 1974, ÉACL a demandé que le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et Enquêtes géologiques du Canada étudient certaines technologies d'évacuation dans les formations géologiques et recommandent les formations qui conviendraient à ce type d'évacuation au Canada. Cette étude a conclu que le sel ou la roche intrusive ignée dure pourraient convenir à l'évacuation des déchets de combustible nucléaire. Elle signalait que certaines formations de roche dure -- particulièrement la roche ignée -- dans le Bouclier canadien qui occupe une grande partie du centre du Canada, pourraient être des plus appropriées. L'immensité du Bouclier, sa stabilité relative pour au moins 600 millions d'années, et le fait qu'il n'ait pas connu de plissements ou de failles importants depuis 2,5 milliards d'années en font une zone particulièrement adéquate en ce qui concerne l'évacuation géologique des déchets nucléaires.

Dès le milieu des années 1970, un certain nombre de facteurs ont poussé le gouvernement du Canada à élaborer des politiques concernant la gestion à long terme des produits radioactifs provenant des centrales nucléaires -- y compris les déchets de combustible nucléaire. Ces facteurs comprenaient l'urgence de la

question de l'énergie nationale dans les années 1970, l'importance des centrales nucléaires pour la production de l'électricité en tant que contribution aux sources futures d'énergie pour le Canada et l'inquiétude croissante du public quant à la sécurité générale de l'énergie nucléaire.

La création en avril 1977 d'un groupe d'étude par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources a permis de franchir un grand pas dans l'élaboration d'une telle politique. Le mandat de ce groupe d'étude était:

"de réaliser une étude sur l'entreposage à long terme en toute sécurité des déchets radioactifs et de soumettre un rapport d'une qualité et d'une portée suffisantes pour servir de document général afin de permettre une vaste distribution aussi bien auprès du gouvernement que du public dans le but de faciliter une meilleure compréhension du problème de l'évacuation des déchets."

Le rapport préparé par le groupe d'étude, présidé par F.K. Hare, décrivait les diverses options ouvertes au Canada pour l'évacuation des déchets de combustible nucléaire, examinait les inquiétudes du public quant à la gestion des déchets de combustible nucléaire et recommandait au Canada de poursuivre la recherche sur des options appropriées. Cette étude a conclu qu'il était opportun de se munir d'un plan national quant à la gestion et à l'évacuation des déchets de combustible nucléaire et qu'il ne faudrait pas permettre que ces déchets s'accumulent indéfiniment en entreposage. Parmi les diverses options d'évacuation qui ont été examinées, le groupe d'étude a considéré l'évacuation souterraine dans la roche ignée comme l'option de recherche la plus prometteuse pour le Canada, le sel étant le second choix.

En juin 1978, les gouvernements du Canada et de l'Ontario ont annoncé un programme pour déterminer si les déchets radioactifs provenant des réacteurs des centrales nucléaires pouvaient être

enfouis d'une façon permanente dans une voûte souterraine profonde aménagée dans une formation rocheuse stable. Le programme avait pour but de vérifier si le fait d'enfouir les faisceaux de combustible usé et les déchets recyclés dans une installation spécialement aménagée au coeur de la roche intrusive ignée du Bouclier canadien pouvait isoler les déchets jusqu'à ce qu'ils soient sans danger pour l'environnement. Ce programme devait être entrepris par ÉACL, la société fédérale de la Couronne responsable du développement de la technologie nucléaire. Par la même occasion, Ontario Hydro était chargée de chercher de meilleures méthodes pour l'entreposage provisoire et le transport des déchets de combustible nucléaire.

Le programme de recherche géologique initial d'ÉACL fut perçu par de nombreux membres du public comme un processus de sélection de sites, plutôt qu'un programme d'évaluation d'une technologie. De nombreuses communautés de la portion de l'Ontario appartenant au Bouclier canadien se sont opposées au programme de test d'ÉACL, craignant que si elles y participaient, les déchets de combustible nucléaire risquaient d'être évacués dans leur région. Les retards subséquents causés par l'opposition du public dans la recherche géologique ont amené le gouvernement à repenser ses plans de recherche et de développement pour la gestion des déchets de combustible nucléaire. Ceci s'est produit en août 1981, alors que les gouvernements du Canada et de l'Ontario réaffirmaient leur engagement à établir un programme de gestion à long terme des déchets de combustible nucléaire. La déclaration d'août 1981 stipulait que la sélection d'un site pour une installation permanente d'évacuation ne débiterait pas tant que le concept de l'évacuation géologique n'aura pas été soumis à une recherche intensive et pleinement examiné par le public et l'instance de réglementation, et tant que les deux gouvernements n'auront pas accepté ce concept comme étant sûr, sans danger et désirable.

1.6 PROCESSUS D'EXAMEN ET D'ÉVALUATION EN MATIÈRE D'ENVIRONNEMENT

En septembre 1988, après dix ans de recherche sur l'option d'évacuation géologique en profondeur, ÉACL était prête à soumettre le concept à l'examen du public. Le ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources, l'honorable Marcel Masse, a demandé au ministre de l'Environnement de mettre en branle le processus fédéral d'examen et d'évaluation (PEÉE) pour étudier le concept d'évacuation en profondeur d'ÉACL. Dans sa demande, le ministre écrit:

"La gestion à long terme des déchets de combustible nucléaire soulève des questions particulièrement importantes pour les Canadiens, y compris les simples questions de santé et de sécurité. Cet examen permettra une discussion publique complète de ces questions. Il s'agira d'une des évaluations environnementales les plus importantes jamais entreprises dans ce pays et cette évaluation fournira une base essentielle quant aux décisions qui seront prises à l'avenir sur les politiques énergétiques.

Je suis persuadé que l'étude des impacts sur la sécurité et l'environnement du concept d'évacuation doit avoir lieu dans le contexte d'un examen en profondeur par le public des sources d'inquiétude et en étant pleinement conscient des diverses méthodes de gestion à long terme des déchets de combustible nucléaire. Cet examen devrait comprendre les programmes des autres pays impliqués dans ce domaine, les différents média géologiques et les différents plans et programmes pour l'établissement et la construction des installations de gestion des déchets nucléaires."

Une Commission fédérale d'examen environnemental a été chargée d'examiner le grand éventail des questions que soulève le concept de l'évacuation. Cela permettra au public d'exprimer son point de vue et de participer à l'examen dans l'ensemble du pays et particulièrement dans les provinces de l'Ontario, du Québec et du Nouveau-Brunswick, où sont actuellement produits et entreposés les déchets de combustible nucléaire. Étant donné que les matériaux

scientifiques et techniques de cet examen seront complexes, la Commission créera un groupe d'étude scientifique composé d'experts indépendants qui aura pour rôle d'étudier en profondeur le concept proposé par ÉACL et de fournir au besoin des conseils techniques et autres à la Commission.

QUESTIONS TRAITÉES LORS DE CET EXAMEN

On s'attend à ce que le processus fédéral d'examen et d'évaluation en matière d'environnement comprenne l'examen des questions suivantes:

- * critères de détermination de la sécurité et de l'acceptabilité;
- * critères de gestion des déchets nucléaires par rapport aux déchets non nucléaires;
- * méthodes de gestion à long terme des déchets de combustible nucléaire;
- * quel fardeau ce concept imposera aux générations futures;
- * les implications sociales, économiques et environnementales;
- * l'expérience et les méthodes d'autres pays en ce qui concerne le problème des déchets de combustible nucléaire;
- * le recyclage et autres processus pour réduire le volume des déchets;
- * le processus recommandé et les critères de sélection d'un site pour une installation d'évacuation à long terme des déchets de combustible nucléaire;
- * les étapes futures de la gestion des déchets de combustible nucléaire au Canada; et
- * le transport des déchets de combustible nucléaire.

Questions non traitées lors de cet examen

Étant donné qu'aucun site ne sera sélectionné jusqu'à ce qu'un concept d'évacuation ait été retenu, la Commission n'examinera pas de sites précis pour les installations d'évacuation des déchets de combustible nucléaire. La Commission ne traitera pas non plus des questions suivantes: les politiques énergétiques du Canada et des provinces; le rôle de l'énergie nucléaire dans le cadre de ces politiques; la possibilité de recycler les combustibles; les applications militaires de la technologie nucléaire.

CHAPITRE DEUX

LE PROCESSUS DÉCISIONNEL

2.0	Intoduction	15
2.1	Le besoin d'un programme à long terme	18
2.2	Équité du processus	18
2.3	Possibilités/crédibilité/ responsabilité des participants	20
2.4	Honnêteté du processus décisionnel	21
2.5	Solutions de rechange à l'évacuation géologique	21

2.0 INTRODUCTION

Dans les pays qui utilisent les réacteurs nucléaires pour produire une partie de leur approvisionnement en énergie, la manière dont sont gérés les déchets de combustible nucléaire dépend en grande partie des décisions politiques prises par les gouvernements et leurs organismes ainsi que des règlements adoptés par chaque pays. En ce qui a trait aux déchets nucléaires, le processus décisionnel est souvent très complexe et varie d'un pays à l'autre. Entre autres facteurs, les participants au processus, les instances décisionnelles, l'échéancier et la portée du processus, la mesure dans laquelle les renseignements sont partagés et la disponibilité des ressources nécessaires pour la mise en oeuvre des décisions sont autant d'aspects qui peuvent varier d'un pays à l'autre. La façon dont les décisions sont prises en ce qui concerne les déchets de combustible nucléaire en Suède par exemple est différente de celle des États-Unis.

Dans le débat sur la gestion des déchets de combustible nucléaire, les questions de processus sont reliées aux façons et aux moyens ayant permis à la communauté nucléaire internationale de conclure

que l'évacuation géologique constituait une option appropriée pour la gestion à long terme. Dans la recherche de cette option appropriée, on a notamment affirmé qu'il fallait opter pour autre chose que les méthodes actuelles pour les déchets de combustible nucléaire.

En Grande-Bretagne, par exemple, les déchets de combustible nucléaire ont été reconnus comme un problème politique en 1976, lorsque la Commission royale sur la pollution de l'environnement a déclaré:

"...qu'il ne devrait y avoir aucun engagement concernant un vaste programme de centrale à fission nucléaire tant que l'on n'aura pas démontré au-delà de tout doute raisonnable qu'une méthode existe pour assurer l'évacuation en toute sécurité des déchets radioactifs à forte activité et à longue durée pour un futur indéfini."

En insinuant que les pratiques actuelles ne conviendraient pas à long terme, on a lancé la recherche pour d'autres options. L'évacuation géologique est cette "autre chose" qui a été recommandée par la communauté nucléaire internationale pour la gestion des déchets de combustible nucléaire pour le futur indéfini.

Il importe que le public soutienne le processus ayant mené à cette recommandation d'évacuation géologique si l'on veut obtenir son appui pour toute recommandation en vue de mettre un projet ou un programme en marche.

Au Canada, les gouvernements fédéral et provinciaux ont joué un rôle clé dans la gestion des déchets de combustible provenant des réacteurs CANDU dès la naissance de l'industrie nucléaire dans ce pays. Avant 1978, la plupart des initiatives du gouvernement fédéral se rapportant à la gestion des déchets de combustible nucléaire étaient conçues et mises en oeuvre par Énergie atomique

du Canada, Limitée, une société fédérale de la Couronne chargée de la recherche et de la mise au point nucléaire et par la Commission de contrôle de l'énergie atomique, l'organisme fédéral chargé des règlements concernant le nucléaire. Les initiatives provinciales étaient généralement conçues et mises en oeuvre par les compagnies d'électricité provinciales exploitant des centrales nucléaires en Ontario, au Québec et au Nouveau-Brunswick.

Toutefois, en 1978, les gouvernements du Canada et de l'Ontario ont décidé d'adopter une méthode coopérative dans la gestion des déchets de combustible nucléaire. A cette époque, les deux gouvernements ont publié une déclaration conjointe chargeant ÉACL de coordonner et d'administrer un programme de recherche et de mise au point sur l'immobilisation et l'évacuation des déchets de combustible nucléaire. En particulier, ÉACL devait déterminer si l'évacuation permanente des déchets dans un dépôt profond, situé au coeur de la roche intrusive ignée, constituait bien une méthode de gestion sûre, fiable et désirable. La directive gouvernementale était basée sur les recommandations d'un groupe d'étude présidé par le D^r Kenneth Hare, ainsi que sur les résultats d'une recherche réalisée par ÉACL. Depuis 1978, ÉACL a mené une recherche détaillée sur la praticabilité d'enfouir les déchets de combustible nucléaire dans des voûtes profondément aménagées dans les formations rocheuses ignées de la portion du Canada appartenant au Bouclier précambrien. Une évaluation de ces travaux constitue un élément essentiel de l'étude qui doit être réalisée par le processus fédéral d'examen et d'évaluation.

Toute étude de ce genre risque de soulever un grand nombre de questions. Les points généralement liés au processus peuvent aller du besoin et de la viabilité de l'activité, du projet ou du concept proposé jusqu'au contexte social dans lequel le besoin a été établi et la viabilité évaluée. Dans les sections suivantes, nous examinons certains des principaux points dans le contexte de la

gestion des déchets de combustible nucléaire. L'expérience canadienne servira d'exemple pour illustrer le type de questions qui peuvent être soulevées dans la gestion des déchets de combustible nucléaire.

2.1 LE BESOIN D'UN PROGRAMME À LONG TERME

Il est évident que l'application de tout concept relatif à la gestion ou à l'évacuation des déchets de combustible nucléaire aura des impacts aussi bien positifs que négatifs sur l'environnement. La question fondamentale en ce qui a trait à l'étude d'un tel processus consiste à établir le besoin d'une telle entreprise.

- * Le besoin d'entreprendre cette tâche a-t-il été clairement démontré?
- * Est-il nécessaire de mettre au point une autre stratégie de gestion des déchets qui serait différente de la méthode actuelle d'entreposage des déchets nucléaires sur les sites des réacteurs?
- * Sur quelle base a-t-on décidé que le Canada devrait s'attarder au concept de l'évacuation des déchets de combustible nucléaire?

2.2 ÉQUITÉ DU PROCESSUS

La notion d'équité est extrêmement importante pour s'assurer l'acceptation par le public de tout processus décisionnel en particulier dans un milieu où les principes démocratiques sont de rigueur. Dans le cas de la gestion des déchets de combustible nucléaire, il est nécessaire d'envisager les intérêts actuels et futurs lorsque l'on examine la question de l'équité. En effet, les déchets nucléaires restent extrêmement radioactifs pendant de

nombreuses années, et les décisions prises à l'heure actuelle auront des implications sérieuses pour les générations futures.

Équité envers les intérêts courants

- * Comment pourra-t-on obtenir un consentement collectif sur le mode de gestion des déchets de combustible nucléaire? Ce processus est-il acceptable pour ceux qui doivent en supporter les conséquences?
- * Les buts et objectifs du processus sont-ils clairement énoncés et définis?
- * Qui participe au processus? Tous les intérêts sont-ils bien représentés?
- * Quels sont les rôles et responsabilités respectifs des organismes gouvernementaux, de l'industrie nucléaire et du public?
- * Comment et quand survient la consultation du public et de quelle manière la contribution du public sera-t-elle prise en compte?
- * Y a-t-il suffisamment de fonds disponibles pour permettre aux intéressés de participer efficacement au processus?

Équité envers les générations futures

- * Quelle responsabilité la génération actuelle a-t-elle envers les générations futures dans le choix d'une méthode pour la gestion des déchets de combustible nucléaire?

- * Est-ce qu'une solution de rechange qui mettrait l'accent sur la réduction ou l'élimination des obligations de gestion pour les générations futures (par exemple l'enfouissement des déchets dans des voûtes fermées hermétiquement) devrait avoir préséance sur une technique qui pourrait impliquer une gestion plus diligente de la part des générations futures (par exemple, la méthode actuelle d'entreposage des déchets sur les sites des réacteurs) mais qui offrirait plus de souplesse pour réagir aux problèmes potentiels?
- * Devrions-nous nous engager dès maintenant, et choisir une option de gestion permanente basée sur la technologie actuelle alors qu'il est possible qu'une méthode beaucoup plus acceptable puisse être mise au point à l'avenir?

2.3 POSSIBILITÉS/CRÉDIBILITÉ/RESPONSABILITÉ DES PARTICIPANTS

Les possibilités, la crédibilité et la responsabilité des participants dans le processus sont également des variables importantes qui susciteront un certain nombre de questions.

- * Est-ce que le cadre institutionnel social actuel concernant la gestion des déchets de combustible nucléaire peut traiter adéquatement les enjeux et problèmes dont la portée s'échelonne sur plusieurs milliers d'années?
- * Quelle importance la crédibilité d'une agence, d'un organisme et d'un individu a-t-elle dans l'ensemble du domaine de la gestion des déchets de combustible nucléaire? De quelle manière cette crédibilité peut-elle être démontrée?
- * Quel sont les rapports entre les promoteurs et les organismes normatifs, et de quelle manière la responsabilité est-elle illustrée?

2.4 HONNETETÉ DU PROCESSUS DÉCISIONNEL

Le degré d'honnêteté d'un processus décisionnel est directement lié au succès de ce processus.

- * Est-ce que tous les renseignements pertinents concernant le projet ont été mis à la disposition du public?
- * Dans quelle mesure les renseignements sont-ils partagés par les participants au processus?
- * Est-ce que tous les intéressés ont bien eu la possibilité de formuler leurs commentaires sur les mémoires présentés par d'autres participants au processus?
- * Le public a-t-il eu la possibilité d'examiner en détail les propositions et les décisions émanant du processus?

2.5 SOLUTIONS DE RECHANGE À L'ÉVACUATION GÉOLOGIQUE

L'examen des solutions de rechange au projet proposé permettra d'évaluer les points forts et les points faibles relatifs à la proposition elle-même.

- * Quelles solutions de rechange ont été envisagées quant à la gestion et à l'évacuation des déchets de combustible nucléaire?
- * Comment les autres méthodes se comparent-elles à l'évacuation géologique en profondeur?
- * De quelle manière ces solutions de rechange ont-elles été évaluées? Sur quelle base ont-elle été rejetées?

* Est-il approprié d'éliminer dès maintenant d'autres options d'évacuation ou de gestion sur la base des connaissances et de l'expertise technique actuelles?

CHAPITRE TROIS

LA TECHNOLOGIE DE L'ÉVACUATION

3.0	Introduction	23
3.1	Compréhension du débat	23
3.2	Châteaux de transport	25
3.3	Emballage des déchets de combustible nucléaire	28
3.4	Évacuation	30
3.5	Comment prédire l'efficacité du système	36

3.0 INTRODUCTION

L'option d'évacuation soulève un certain nombre de points scientifiques et technologiques touchant aussi bien le côté radiologique que le côté non radiologique. En somme, la technologie de l'évacuation des déchets de combustible nucléaire implique trois vastes secteurs de recherche et de mise au point:

- 1) la conception et la construction du château de transport;
- 2) la préparation ou l'emballage des déchets de combustible nucléaire pour fins d'évacuation; et
- 3) la conception, la construction et l'utilisation de la voûte d'évacuation.

3.1 COMPRÉHENSION DU DÉBAT

Nous sommes non seulement en présence de défis scientifiques et technologiques soulevés par un système non éprouvé, mais la preuve qui nous est présentée pour résoudre ces défis est interprétée différemment selon le point de vue personnel que l'on peut avoir de la nature même de la science.

Selon un de ces points de vue:

- * la science serait principalement régie par des preuves tangibles (faits, données) qui peuvent se distinguer clairement des théories;
- * la science apporte des solutions et réduit les incertitudes;
- * en matière scientifique le consensus est normal et désirable;
- * l'examen critique des pairs et les mécanismes d'auto-réglementation sont suffisants pour assurer la qualité de la recherche; et
- * la connaissance scientifique se forme sur une échelle de temps relativement courte (c'est-à-dire qu'elle doit se former assez rapidement pour démontrer d'une façon "raisonnable" que l'installation répondra aux critères normatifs afin qu'elle puisse ouvrir à la date prévue).

Selon un autre point de vue:

- * La science est principalement régie par les théories et les hypothèses qui affectent aussi la sélection, la nature et l'interprétation de la preuve (faits, données);
- * la recherche soulève autant de questions qu'elle n'en résoud (c'est-à-dire que nous devrions nous attendre à des surprises importantes dans les résultats des recherches sur l'évacuation dans des formations géologiques);
- * le consensus peut indiquer une réflexion hâtive (et le pluralisme des théories, des programmes de recherche et des méthodes est normal et désirable);
- * l'examen critique par les pairs est vulnérable au conformisme scientifique et à la manipulation politique; et
- * la science procède beaucoup plus lentement que les programmes d'évacuation des déchets ne semblent le reconnaître.

Ces aspects contradictoires de la science affectent le point de vue de chacun quant au sens véritable des réalisations scientifiques et techniques et des incertitudes qui en résultent; ils affectent aussi le temps nécessaire pour résoudre ces incertitudes. Les preuves à l'appui telles que les théories, les outils expérimentaux et analytiques, les règlements et les facteurs humains sont donc discutés et évalués en conséquence. En réalité, les controverses concernant la preuve pour l'évacuation des déchets révèlent beaucoup de confusion quant à la signification d'expressions comme "techniquement digne de foi", "résout les incertitudes", "justifie ou rend valable une théorie ou un modèle", "techniquement solide", "techniquement imparfait", "assurance raisonnable", etc. Cette confusion semble aggraver le désaccord en ce qui concerne les rôles relatifs des facteurs "d'objectivité" et de "bon jugement ou de bonne évaluation" de la science.

3.2 CHATEAUX DE TRANSPORT

L'adoption de l'option d'évacuation dans les formations géologiques implique le transport des déchets de combustible nucléaire depuis les réacteurs jusqu'au(x) site(s) d'évacuation définitif(s). Plusieurs questions ont été soulevées quant à la technologie des châteaux de transport. Elles portent aussi bien sur l'assurance de qualité quant à l'intégrité des châteaux que sur la mise au point de tests pour évaluer le comportement des châteaux pendant le transport.

3.2.1 Assurance de qualité

Bien que l'efficacité du système de château de transport puisse être établie sur la base des besoins réels, la qualité de la fabrication du château risque de créer des difficultés. Ces difficultés peuvent résulter directement de facteurs humains ou de défauts de fabrication.

- * Est-il possible d'obtenir une assurance de qualité?
- * Comment peut-on obtenir une telle assurance?

3.2.2 L'intégrité du château

Avant qu'un château de transport puisse bénéficier d'un permis, il doit se conformer aux normes établies par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA). Selon la principale exigence du permis, ce château devrait être en mesure de conserver son contenu après une série d'essais conçus pour simuler des accidents graves. Ces essais comprennent une chute de neuf mètres sur une surface plane, dure et non flexible; une chute d'un mètre sur un pieu d'acier massif de 15 cm de diamètre et de 20 cm de long; l'exposition à une température de 800 °C (en cas d'incendie d'origine pétrolière) pendant 30 minutes au moins; et l'immersion dans 15 mètres d'eau pendant huit heures.

- * Compte tenu des points soulevés dans la section 3.2.3, aurait-on trop tendance à se fier à la solidité ou à l'intégrité du château de transport?

3.2.3 Test de rendement du château de transport

Certains ont exprimé des inquiétudes quant au bien-fondé des tests réalisés sur le château de transport, à la façon dont ces tests ont été menés et à la conformité des tests de modélisation ou de simulation sur ordinateur par rapport aux conditions réelles. En ce qui a trait au test de collision, par exemple, particulièrement dans le cas de transport par rail, les forces peuvent considérablement dépasser celles qui ont été simulées dans une chute verticale de neuf mètres sur une surface plane, dure et non flexible. D'autre part, bien que la température d'un incendie d'origine pétrolière puisse atteindre 800 °C, la température de combustion du butane, de l'éthène, de l'acétate d'éthyle, du gaz

naturel liquide et du propane -- pour ne mentionner que quelques cas -- dégage des flammes d'une température supérieure à 1 750 °C.

- * Est-ce que les normes établies par l'AIÉA en ce qui concerne les caractéristiques techniques d'un château suffisent à protéger la santé des êtres humains et de l'environnement?

La façon dont ces tests ont été menés soulève aussi certaines questions. Par exemple, suivant les tests appliqués par les Laboratoires Sandia en Arizona, aux États-Unis, les dispositifs de "retenue" du château de transport maintiennent rigidement le château sur le lit de remorque du camion de transport si bien que la remorque absorberait une partie du choc en cas de collision. (Dans les tests de Sandia, le camion frappe un mur fixe à une vitesse de 95 à 130 km/h mais en raison des dispositifs "d'attache rigide", le château lui-même frappe le mur à une vitesse d'environ 50 km/h). Si, pour une raison quelconque -- erreur humaine, mauvais fonctionnement de l'équipement -- les dispositifs "d'attache" n'étaient pas rigides, ils pourraient se défaire et le château frapperait alors le mur à une vitesse beaucoup plus grande.

- * Est-ce que les protocoles d'essais des châteaux de transport sont suffisamment stricts pour offrir une protection contre l'erreur humaine ou le mauvais fonctionnement de l'équipement?
- * Des tests de modélisation et des simulations par ordinateur peuvent-ils remplacer des essais réels et donner des résultats précis?
- * La modélisation et la simulation suffisent-elles pour prévoir les résultats avec un degré de confiance acceptable?

3.3 L'EMBALLAGE DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

L'emballage (que l'on appelle aussi immobilisation) des déchets agit comme barrière initiale à la migration des radionucléides dans l'environnement. Un certain nombre de barrières mixtes artificielles sont envisagées dans le cadre de la technologie de l'emballage:

- * des déchets conditionnés, massifs, largement insolubles;
- * un contenant à déchets fabriqué à partir de matériaux résistants à la corrosion; et
- * un chemisage, qui peut être un autre emballage, ou un matériau tampon/de remblai qui serait appelé éventuellement à séparer les déchets à l'intérieur d'une voûte située dans une formation géologique.

L'efficacité de l'emballage en tant qu'écran dépend de ses propres propriétés physiques et chimiques, de l'effet de la chaleur et des radiations provenant des déchets, de la composition chimique des déchets et des propriétés du médium géologique (granite, argile, tuf volcanique, sel, etc.), y compris l'écoulement des eaux souterraines et leur composition chimique.

Le moyen le plus probable par lequel les matériaux radioactifs pourraient être amenés à la surface semblerait être la dissolution et le transport par l'eau souterraine. À cet effet, quatre importantes sources d'inquiétudes existent en ce qui concerne le temps:

- * le temps avant lequel les déchets seront exposés à l'eau;
- * le temps qu'il prend aux déchets dans ses diverses formes pour se dissoudre dans l'eau;
- * les temps spécifiques pour les processus qui peuvent changer les déchets conditionnés, causant par exemple, l'ouverture

d'une brèche dans le contenant ou l'effritement des déchets solides conditionnés; et

- * les effets d'une carence dans le contrôle de la qualité.
- * Quelles sont les garanties, le cas échéant, en ce qui concerne ces questions d'emballage par rapport au temps?

3.3.1 Déchets conditionnés insolubles

En ce qui concerne les faisceaux de combustible usé, la forme conditionnée des déchets constitue un solide largement insoluble enchâssé dans un alliage (zirconium) résistant à la corrosion. Pour emballer les déchets radioactifs liquides provenant du recyclage, on envisage l'utilisation de la céramique ou du verre.

On cite souvent le cas des verreries égyptiennes fabriquées il y a plus de 3 000 ans (1400 av. J.- C.) et les verreries romaines fabriquées il y a 2 000 ans (75 apr. J.-C.) et qui ont survécu aux ravages du temps pour expliquer à quel point le verre peut constituer un matériau d'emballage très approprié. Ce verre a perduré en dépit du fait qu'il a été créé surtout pour des fins décoratives et non pas pour sa durabilité.

Ainsi, à l'heure actuelle, des pays comme le Canada, les États-Unis, l'Allemagne, la France, la Belgique, le Japon et l'Italie enferment des échantillons de déchets conditionnés non radioactifs dans du verre et du verre céramique. Un certain nombre de ces échantillons sont mis en place, pour fins d'essais, dans le cadre du projet pilote d'évacuation des déchets (WIPP), au Nouveau Mexique. Une expérience du même genre a été organisée en 1957 dans les Laboratoires nucléaires de Chalk River en Ontario.

- * Quels sont les avantages et les inconvénients des matériaux qui sont à notre disposition pour rendre insolubles les déchets de combustible nucléaire?

3.3.2 Les contenants à déchets

Pour l'emballage des déchets nucléaires, l'idée qui semble la plus populaire consiste à placer les matériaux dans des contenants métalliques (titanium, alliages à base de nickel, acier inoxydable, cuivre, etc.) avec certains matériaux de remblayage (béton, billes de verre, etc.). Le métal choisi résistera à la corrosion. Par exemple, au début du programme de recherche canadien, on a éliminé l'acier inoxydable parce que l'on a découvert, à la suite de recherches localisées, que l'eau souterraine du Bouclier canadien était très saline.

- * Est-il possible que la composition chimique de l'eau souterraine puisse changer au cours des années et influencer ainsi négativement la résistance à la corrosion des contenants à déchets?

3.3.3 Tampon/remblai

Le dernier écran artificiel, dans le cadre de la technologie d'emballage, serait constitué par des matériaux de tampon et de remblai dans la voûte pour séparer les déchets conditionnés de la formation géologique. Pour ce rôle, on envisage l'utilisation de bentonite ou d'autres matériaux à base d'argile et de faible perméabilité.

- * Quelle est l'importance des procédures d'installation des matériaux tampon et de remblai relativement à leur choix en raison de leur faible perméabilité?

3.4 **ÉVACUATION**

L'utilisation de dépôts situés dans des formations géologiques dans le but d'évacuer les déchets de combustible nucléaire est basée

principalement sur la stabilité à long terme des formations géologiques. Ceux qui sont en faveur de cette option citent souvent en exemple le phénomène Oklo. Dans le phénomène Oklo, un "réacteur" nucléaire a été créé naturellement dans un gisement d'uranium d'Afrique occidentale à teneur très élevée. Lorsque l'on découvrit le site en 1972, on se rendit compte que le plutonium et la plupart des autres radionucléides à longue durée qui s'étaient formés, étaient restés près de leur point d'origine pendant presque 2 milliards d'années. En fait, le plutonium n'avait pas quitté les grains de minerai d'uranite dans lequel il avait été formé.

3.4.1 Formations géologiques

On examine présentement un certain nombre de formations géologiques qui pourraient servir de dépôts pour les déchets de combustible nucléaire. Les roches intrusives ignées, telles que le granite et le basalte sont actuellement envisagées en Suède et au Canada par exemple, les formations de sel font l'objet d'études intensives en Allemagne occidentale, alors que les argiles et les schistes sont envisagés dans les pays comme la Belgique et l'Italie. Chaque pays concentre ses ressources financières et ses efforts de recherche sur les formations géologiques qui sont les plus communes à l'intérieur de ses frontières. Des ententes de coopération bilatérales, multilatérales et internationales servent à obtenir des renseignements sur les programmes de recherche dans d'autres formations géologiques. Les propriétés de chaque formation géologique -- ses avantages et ses inconvénients -- peuvent varier. Ces variations vont de la perméabilité jusqu'à la résistance, aux dommages causés par la radiation et aux propriétés de conductivité thermique.

- * Les roches ignées conviennent-elles à l'évacuation des déchets de combustible nucléaire dans les formations géologiques?

- * Quels sont les avantages des roches ignées par comparaison aux autres formations géologiques pour l'évacuation des déchets de combustible nucléaire?
- * Pourquoi le sel a-t-il été éliminé comme option d'évacuation dans les formations géologiques?

3.4.2 Le transport géologique

Exception faite de l'intrusion par l'être humain, le cheminement le plus probable des déchets de combustible nucléaire vers la surface se fera au moyen de l'eau souterraine. Des événements exceptionnels, tels que tremblements de terre, explosions volcaniques, météorites et formations glaciaires, sont aussi pris en considération en ce qui concerne le transport géologique, mais de tels événements risquent beaucoup plus de changer les caractéristiques hydro-géologiques du site que d'amener directement les matériaux radioactifs à la surface.

Les conditions déterminant le temps nécessaire pour que l'eau souterraine transporte les matériaux depuis le dépôt jusqu'à la surface sont très complexes. Les variables qui risquent d'affecter le transport de l'eau souterraine vers la surface sont influencées par la conductivité hydraulique des formations géologiques locales, les propriétés chimiques et thermiques de la roche et de l'eau souterraines, la profondeur et l'étendue latérale du bassin hydro-géologique et les passages (fissures) qui permettraient des sorties vers la surface.

En raison de cette complexité, il n'est possible de préparer des estimations précises quant à la durée du transport que pour un site particulier. D'autre part, la recherche devrait permettre de

définir les caractéristiques désirables pour guider le choix d'un site comme dépôt de déchets. Une telle définition aidera à déterminer la durée moyenne du transport.

- * Ceci fait, pourrait-on se demander quel serait l'effet d'une seule caractéristique défavorable, comme une fissure presque verticale par exemple?

Les caractéristiques défavorables ne sont pas les seuls facteurs réduisant le temps de transport des matériaux radioactifs à la surface. La plupart des variables, pendant la période dangereuse des déchets de combustible nucléaire, peuvent être changées à la suite de divers phénomènes géologiques. L'activité sismique ou volcanique peut produire des fissures, par exemple, et l'érosion peut transformer la géométrie et le potentiel hydraulique du bassin d'eau souterraine.

- * A quel point peut-on être certain qu'une activité géologique imprévue ne risque pas de changer la durée de transport dans un site de dépôt de déchets nucléaires à l'intérieur d'une formation géologique?

Les connaissances au sujet des mouvements des eaux souterraines en général varient selon la formation géologique prise en considération. Dans certaines formations géologiques, les mouvements de l'eau sont bien établis. Par exemple, l'existence d'une couche de sel indique d'une façon presque certaine qu'il ne s'est pas produit de grands écoulements d'eau à travers le sel sinon ce dernier aurait été dissous. Dans d'autres cas, comme le granite, on ne possède que peu de renseignements, étant encore aux premiers stades des programmes de recherche. Il est donc nécessaire d'effectuer des recherches intensives sur place et des études régionales sur l'écoulement des eaux souterraines.

- * Dans quelle mesure peut-on se fier à la prédiction des mouvements de l'eau souterraine dans la roche granitique?

L'introduction possible des radionucléides dans l'eau souterraine soulève d'autres questions en ce qui concerne la durée de transport à partir d'une voûte. Ces questions et d'autres sur des sujets similaires ont, en grande partie, été à l'origine de la construction ou de la mise au point de grands laboratoires de recherches souterraines. On retrouve des exemples de ces installations internationales à Stripa, en Suède, dans le Laboratoire de recherches souterraines du Canada au Manitoba et dans le Laboratoire de Grimsel Rock, en Suisse.

- * Les résultats d'essais réalisés dans ces laboratoires de recherches souterraines sont-ils fiables?

L'intrusion inconsciente par l'homme dans des dépôts de déchets ainsi scellés pourrait être évitée en plaçant ces cimetières à déchets dans des régions qui ne présentent pas de ressources valables et en les situant à des profondeurs importantes.

- * Devrait-on marquer ces sites pour fins d'identification, et si oui, de quelle manière?

3.4.3 La biosphère

De quelle manière les matériaux radioactifs dissous qui atteignent la surface seraient-ils dilués par l'eau de surface et quelle serait la quantité prise et retenue par les plantes et les animaux? Tout cela fait aussi l'objet des programmes de recherche sur l'évacuation des déchets. Les réponses ainsi trouvées peuvent alors être utilisées pour calculer la quantité de ces déchets radioactifs qui pourrait atteindre l'homme par l'entremise de l'air qu'il respire, de la chaîne alimentaire et de l'eau.

Les points soulevés en ce qui concerne la biosphère peuvent être divisés en deux catégories importantes. Tout d'abord, l'homme est considéré comme récepteur ultime de tous les dégagements radioactifs provenant de la voûte d'évacuation des déchets.

- * L'homme devrait-il être considéré comme le récepteur le plus important de tous les dégagements de radionucléides?
- * Est-ce que les autres organismes vivant dans l'environnement devraient seulement être considérés comme tampons pour l'homme ou devraient-ils être envisagés comme entités qui pourraient être affectées par les dégagements radioactifs?

Deuxièmement, nous devons aussi traiter de la santé de l'être humain et de sa résistance à certains niveaux de radiation. Les radiations naturelles -- radiation du soleil, éléments radioactifs de provenance naturelle dans la terre, etc. -- et leur variation d'intensité d'un endroit à l'autre ont soulevé des questions pour la santé de l'être humain. En plus des radiations naturelles, il y a celles provenant des machines radioscopiques et des matériaux radioactifs utilisés en médecine et dans l'industrie, les émissions provenant des centrales nucléaires, etc. -- tout cela complique encore plus la question des effets sur l'être humain.

Généralement, la controverse provient de l'estimation du nombre des effets sur la santé provoqués par l'augmentation de l'exposition aux radiations. Cette controverse est centrée généralement sur "l'hypothèse linéaire" -- l'hypothèse selon laquelle le nombre des effets sur la santé provoqués par les radiations est proportionnel à la dose de radiation, et qu'il n'y a pas de seuil minimal sans effet. "L'hypothèse linéaire" et les différents seuils sont au coeur des questions que soulèvent les effets sur la santé des augmentations d'exposition aux radiations à partir d'une voûte d'évacuation des déchets.

- * Dans quelle mesure pouvons-nous accepter le principe d'un seuil d'exposition aux radiations?
- * Compte tenu du débat scientifique sur l'existence d'un seuil pour les effets des radiations, quel modèle devrions-nous choisir?

3.5 COMMENT PRÉDIRE L'EFFICACITÉ DU SYSTÈME

Selon une publication récente du Comité consultatif suédois pour la gestion des déchets nucléaires:

"...pour réduire le plus possible le risque des effets négatifs à long terme sur l'environnement, nous devons chercher à créer des systèmes qui soient adaptés le plus possible à la nature elle-même."

Suivant deux des hypothèses sous-jacentes au concept d'évacuation dans les formations géologiques, la nature (géosphère/biosphère) peut dresser des barrières contre le mouvement des radionucléides et l'homme peut venir en aide à la nature en fournissant des barrières artificielles. Cette combinaison de barrières naturelles et artificielles s'accompagne d'un certain nombre d'incertitudes. Étant donné qu'il est impossible de démontrer l'efficacité du système à cause de la longue période pendant laquelle l'installation doit fonctionner convenablement, on doit démontrer la fiabilité scientifique de cette technologie par d'autres moyens. Pour que le programme d'évacuation des déchets de combustible nucléaire puisse être mis en vigueur, il sera indispensable que le public comprenne cette technologie et y fasse confiance.

Pour atteindre un tel niveau de fiabilité, il faut pouvoir vaincre un certain nombre d'obstacles:

- 1) l'identification de tous les facteurs qui pourraient affecter le comportement de l'installation d'évacuation sur une période d'au moins 10 000 ans (de façon à satisfaire les critères normatifs);
- 2) l'identification de nombreuses interactions reliées au temps, à l'intérieur des éléments naturels et artificiels de la technologie d'évacuation des déchets et entre ceux-ci;
- 3) la mesure de l'incertitude et des variantes survenant de mesures imprécises ou de données incomplètes; et
- 4) la préparation d'une technique d'évaluation souple et universelle, étant donné que le point saillant de l'étude environnementale est un concept d'évacuation des déchets -- plutôt que l'étude d'un site et d'un concept en particulier.

Dans la communauté internationale, on utilise un certain nombre d'outils pour vaincre ces obstacles et atteindre le niveau de fiabilité mentionné ci-dessus. Contrairement aux techniques mentionnées un peu plus tôt -- recherches sur place, recherches en laboratoire, laboratoires de recherches souterraines, etc. -- ces outils sont conçus pour "réunir" les renseignements et prédire en quelque sorte l'efficacité d'une installation conceptuelle d'évacuation des déchets.

* Devant tant d'obstacles, peut-on se fier aux prédictions?

3.5.1 Les modèles

La modélisation des divers éléments de l'installation d'évacuation des déchets -- emballage, voûte d'évacuation, géosphère et biosphère -- constitue l'une des étapes initiales pour caractériser l'efficacité du système. On utilise ce procédé lorsque l'on ne possède pas de connaissances complètes sur un élément. Le modèle tente alors de représenter la réalité en utilisant des hypothèses basées sur des données d'essais sur place, des données théoriques et des données d'essais en laboratoire. Un modèle de la géosphère, par exemple, a été créé en se basant sur les expériences effectuées sur des échantillons de roche, sur des forages en profondeur et sur l'excavation et l'exploitation d'un laboratoire souterrain. Ce modèle, comme les autres, contient des descriptions mathématiques de processus qui pourraient affecter l'efficacité de l'installation d'évacuation des déchets.

- * Est-ce que l'on peut utiliser des descriptions mathématiques d'inconnues pour effectuer des prédictions à long terme des divers phénomènes et des impacts possibles tels que le mouvement de l'eau souterraine?

3.5.2 Simulations sur ordinateur

Les interactions entre les divers éléments de l'installation d'évacuation des déchets -- la voûte, la géosphère et la biosphère -- posent des défis distincts. Les simulations sur ordinateur sont utilisées ici pour prédire l'efficacité lorsque l'on se trouve en présence de plus d'un modèle. L'ÉACL, par exemple, a mis au point le programme informatisé SYVAC (l'acronyme pour Systems Variability Analysis Code). Ce programme est utilisé pour évaluer le concept de l'évacuation des déchets. SYVAC est conçu de façon à prendre en considération les incertitudes et les variantes se rapportant aux différents modèles à évaluer et à prédire sur une certaine période

l'efficacité du système d'évacuation. D'une façon typique, de telles simulations sur ordinateur donnent des résultats en termes de conséquences par rapport à la fréquence de leur déclenchement.

- * En plus des autres carences possibles, comment se protège-t-on contre les erreurs humaines lors de la réalisation des simulations sur ordinateur?

3.5.3 Les analogues naturels

Un analogue est défini comme étant la comparaison de quelque chose point par point avec quelque chose de semblable. Les analogues naturels sont souvent utilisés pour appuyer la validation de certains aspects des modèles et des données et pour les résultats généraux de l'évaluation du système d'évacuation des déchets. L'analogue naturel Oklo que nous mentionnions un peu plus tôt dans ce chapitre est un cas type, et ceux qui sont en faveur de l'évacuation dans les formations géologiques en font souvent mention.

Le dépôt d'uranium de Cigar Lake situé au nord de la Saskatchewan aurait des caractéristiques analogues à celles des concepts mis au point à l'échelle internationale en ce qui concerne l'évacuation des déchets dans des formations de roches ignées. On prétend qu'une bonne compréhension de ces analogues et de d'autres analogues naturels pourrait fournir des renseignements extrêmement utiles quant au comportement à long terme de ces installations d'évacuation des déchets.

- * Y a-t-il des cas où des analogues naturels ont été utilisés pour prédire l'efficacité d'une technologie et dans lesquels cette technologie, une fois appliquée, a vérifié le bien-fondé de l'analogue naturel?

CHAPITRE QUATRE
LES QUESTIONS D'IMPACTS ET DE MISE EN OEUVRE

4.0	Introduction	40
4.1	Entreposage	41
4.2	Évacuation	45
4.3	Emballage des déchets de combustible nucléaire	48
4.4	Transport	52
4.5	Mesure des impacts	55
4.6	Réduction des impacts	57
4.7	Processus de sélection des sites	59

4.0 INTRODUCTION

La mise en oeuvre et l'exploitation de tout projet soulèvent des inquiétudes quant aux impacts. Depuis au moins trente ans, l'exploitation des centrales nucléaires a produit des quantités très importantes de déchets de combustible nucléaire. À son tour, cette situation a engendré des inquiétudes concernant les impacts économiques, sociaux et environnementaux des techniques de gestion actuelles et potentielles. Dans le cas d'une méthode de gestion des déchets, il est primordial de considérer les impacts négatifs aussi bien que les impacts positifs. De plus, en raison du caractère radioactif des déchets de combustible nucléaire, il est important de prendre en considération les impacts radiologiques et non radiologiques. Bien sûr, lorsqu'il s'agit d'envisager les options futures pour la gestion des déchets de combustible nucléaire, les questions de choix du site entrent en ligne de compte. Les méthodes de choix du site ainsi que l'identification, l'évaluation et la réduction des impacts prévus constituent donc des points très importants qui doivent être pris en ligne de compte dans le processus d'examen.

Ce chapitre examine les impacts et les points soulevés par l'entreposage, l'évacuation, l'emballage/immobilisation et le transport des déchets de combustible nucléaire. Nous présenterons ensuite de brèves discussions sur l'évaluation et la réduction des impacts et sur la sélection des sites.

4.1 ENTREPOSAGE

L'entreposage des déchets de combustible nucléaire est une technique de gestion impliquant l'accumulation de déchets dans des installations à sec ou sous l'eau, avec l'intention de les récupérer. Tous les pays qui ont des programmes d'énergie nucléaire utilisent cette technique.

4.1.1 La pratique courante

Au Canada, le combustible nucléaire usé est actuellement entreposé dans des bassins remplis d'eau, sur les lieux mêmes des réacteurs. Au bout de plusieurs années, une partie du combustible usé est transféré dans des installations d'entreposage à sec situées au-dessus du sol. Si l'entretien est effectué convenablement, les faisceaux de combustible usé peuvent être conservés dans des installations d'entreposage sous l'eau ou à sec pendant de très longues périodes.

Au fur et à mesure qu'augmente la quantité de combustible nucléaire usé nécessitant un entreposage, deux possibilités d'entreposage peuvent être envisagées:

- * on peut agrandir les installations à proximité des réacteurs nucléaires; ou

- * le combustible nucléaire usé peut être transporté depuis un certain nombre de centrales vers une installation d'entreposage centralisée.

Cette dernière technique est actuellement utilisée en Suède et elle est envisagée aux États-Unis.

4.1.2 Les questions économiques

Les implications économiques de la gestion des déchets de combustible nucléaire par l'entreposage sur le site des réacteurs ou dans une installation centralisée, posent un certain nombre de questions.

- * Est-il plus économique d'agrandir les installations d'entreposage actuelles ou de créer des installations centralisées?
- * Est-ce que le combustible nucléaire devrait être traité en tant que déchet particulier, séparément des autres déchets sur le site du réacteur.

Par exemple, une étude de ressources économiques entreprise à l'université de Cornell aux États-Unis semble indiquer que, du point de vue économique, le fait de garder les faisceaux de combustible usé sur le site pendant toute la durée utile du réacteur nucléaire et, éventuellement, de "mettre au tombeau" le site au complet (y compris le réacteur et les installations d'entreposage de combustible) pourrait constituer la méthode la plus économique, puisque cela éviterait le transport des déchets vers un lieu d'entreposage (ou d'évacuation) centralisé.

4.1.3 Les questions sociales

Dans tout projet ou toute pratique, d'importantes questions sociales peuvent survenir selon la répartition des avantages et des risques. La technique de gestion actuelle qui consiste à entreposer des déchets de combustible nucléaire sur les sites des réacteurs comporte un certain nombre d'avantages et de risques. Par exemple, les résidents de Pickering en Ontario bénéficient de certains avantages économiques et autres par la présence d'une centrale nucléaire. Par contre, on pourrait dire que ces mêmes résidents seraient exposés à un niveau de risque beaucoup plus grand dans l'éventualité d'un accident ou d'une autre situation grave. Le principe sous-jacent est que les bénéficiaires d'une activité (la production d'énergie nucléaire) doivent s'exposer à un risque proportionnel à l'activité (l'entreposage des déchets de combustible nucléaire). Si l'on crée une installation d'entreposage centralisée, la répartition des risques et des avantages change, en raison du transport des déchets de combustible dont il faut alors tenir compte.

Les autres questions sociales se rapportant à l'entreposage concernent la santé et la sécurité.

- * Est-ce que l'entreposage des déchets de combustible nucléaire constitue une méthode de gestion appropriée du point de vue de la santé et de la sécurité?
- * Quelles sont les implications pour le grand public et pour ceux qui travaillent sur le ou les sites d'entreposage?
- * Quelles sont les implications comparatives de santé et de sécurité dans le cas de l'entreposage des déchets de combustible nucléaire sur les sites de réacteurs et dans une installation centralisée?

- * Devrait-il y avoir des normes de santé et de sécurité différentes pour les membres du grand public et les travailleurs de cette industrie? Par exemple, les limites d'exposition en ce qui concerne les radiations pour les travailleurs de l'industrie nucléaire sont 10 fois plus élevées que pour les membres du grand public au Canada.
- * De quelle manière pourrions-nous mesurer les effets de l'entreposage des déchets de combustible nucléaire sur la santé? Est-il suffisant de surveiller les sites de réacteurs et d'entreposage en ce qui concerne les émissions habituelles ou accidentelles de radiation ou devrait-on entreprendre des études sur la santé des travailleurs de l'industrie nucléaire et des résidents du voisinage des sites?

4.1.4 Les questions environnementales

Les impacts sur l'environnement concernant l'entreposage des déchets de combustible nucléaire, que ce soit sur les sites des réacteurs ou dans une installation centralisée, doivent être pris en considération en même temps que les impacts économiques et sociaux.

- * Comment mesure-t-on les impacts sur l'environnement? Quels facteurs devrait-on prendre en considération pour évaluer les impacts sur l'environnement?
- * Quels sont les impacts sur l'environnement associés à l'entreposage sur les sites et à l'entreposage dans une installation centralisée?
- * Devrait-on entreprendre des études de base ou préliminaires pour évaluer les impacts sur l'environnement avant de construire une installation d'entreposage.

4.2 ÉVACUATION

L'évacuation des déchets de combustible nucléaire est une forme de gestion qui implique d'isoler ces déchets de l'environnement sans aucune intention de les récupérer. De nombreuses méthodes d'évacuation ont été sérieusement examinées par un ou plusieurs des pays qui ont des programmes d'énergie nucléaire. Les techniques d'évacuation étudiées comprennent: le lancement des déchets dans l'espace; l'enfouissement des déchets sous les calottes glacières des poles; l'enfouissement des déchets sous le fond de l'océan; et le placement des déchets dans des voûtes situées en profondeur dans des formations géologiques. Un des objectifs sous-jacents de la recherche d'une méthode d'évacuation appropriée serait de dégager les générations futures de toute responsabilité de gestion de ces déchets en mettant au point une technique permanente de gestion des déchets de combustible nucléaire.

4.2.1 La pratique courante

Aucune installation commerciale d'évacuation des déchets de combustible nucléaire usé n'existe à l'heure actuelle dans le monde. Le consensus dans la communauté nucléaire internationale est que l'évacuation en profondeur dans différents types de formations géologiques (tels que le granite, le basalte, le tuf volcanique, le schisme et l'argile) pourrait constituer une méthode appropriée à long terme pour la gestion des déchets de combustible nucléaire. De nombreux pays, dont le Canada, entreprennent des programmes de recherches détaillés pour évaluer l'avantage de l'évacuation dans une formation géologique alors que plusieurs autres pays (dont les États-Unis) en sont déjà au premier stade de la construction d'une installation d'évacuation.

4.2.2 Les questions économiques

Étant donné qu'un des objectifs de l'évacuation consiste à dégager les générations futures des responsabilités de gestion, une autre dimension s'ajoute au coût de la gestion des déchets de combustible nucléaire. C'est-à-dire que les bénéficiaires actuels de l'énergie nucléaire supporteront pratiquement tous les coûts de la gestion à long terme des déchets de combustible nucléaire si l'évacuation semble être le moyen le plus approprié pour traiter ces déchets. Ces coûts seront beaucoup plus élevés que ceux de la méthode d'entreposage actuelle.

- * Est-ce que les bénéficiaires actuels d'une activité devraient en défrayer tous les coûts (y compris un grand nombre de coûts futurs)?
- * En supposant que les coûts supplémentaires de l'évacuation sont acceptables, qui doit les assumer (le grand public, les utilisateurs, etc.) et quelle devrait être la méthode de paiement (factures de services publics, fonds d'évacuation, etc.)?
- * Est-ce qu'une partie des coûts de l'évacuation devrait être couverte par le recyclage des faisceaux de combustible utilisé pour en extraire le potentiel énergétique avant que les déchets ne soient préparés pour l'évacuation?
- * Est-ce que les bénéficiaires actuels de l'énergie nucléaire devraient mettre des fonds de côté dès maintenant de façon à pouvoir rectifier ou atténuer les conséquences d'un accident ou d'un problème à l'avenir dans l'installation d'évacuation des déchets?

4.2.3 Les questions sociales

Une des prémisses à l'évacuation des déchets soutient que les générations futures ne devraient pas être accablées par une activité dont elles ont peu ou pas bénéficié. Comme telle, la décision d'opter pour l'évacuation des déchets a des ramifications sociales pour la génération actuelle chargée de la responsabilité de la conception, de la construction et de l'exploitation de l'installation d'évacuation et pour les générations futures qui devraient être soulagées des obligations de gestion.

La génération actuelle

- * Est-ce que l'évacuation des déchets de combustible nucléaire constitue un moyen de gestion approprié du point de vue de la santé et de la sécurité? Quelles sont les implications pour le grand public et les travailleurs sur le site d'évacuation?
- * Est-ce que les régions, les provinces, les états et les pays possédant des centrales nucléaires ont une obligation de se débarrasser de leurs propres déchets de combustible nucléaire? Est-ce qu'une région, une province, un état ou un pays devrait accepter les déchets de combustible nucléaire d'ailleurs pour les éliminer dans sa propre installation?
- * Est-ce que les questions d'emploi ou tout autre facteur devraient outrepasser les considérations de santé publique et de sécurité dans le choix des installations d'évacuation?

Les générations futures

- * Est-ce que le concept d'évacuation des déchets choisi par la génération actuelle devrait soulager les générations futures

de toute obligation de gestion ou est-ce que l'on devrait envisager la possibilité de surveillance et d'accessibilité afin de permettre aux générations suivantes d'identifier les problèmes possibles et de pouvoir y remédier?

4.2.4 Les questions environnementales

Les impacts réels et potentiels sur l'environnement de tout concept d'évacuation des déchets sont d'une importance considérable lors de l'évaluation de l'attrait d'un tel concept.

- * Quels sont les impacts environnementaux qui découleront de la construction et de l'exploitation de l'installation d'évacuation des déchets? Dans quelle mesure les ressources aquifères, le biote, etc. seront-ils affectés?
- * Peut-on concevoir et fabriquer des barrières artificielles (par ex. des voûtes) qui empêcheront la libération des matériaux radioactifs dans l'environnement et qui resteront efficaces pendant toute la longue période durant laquelle ces déchets resteront dangereux pour les êtres humains et l'environnement?
- * Dans le cas de l'évacuation dans les formations géologiques, peut-on prédire la possibilité de perturbations des formations géologiques causé par les tremblements de terre ou autres causes qui pourraient affecter l'intégrité des installations d'évacuation et peut-on s'y préparer?

4.3 **EMBALLAGE DES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE**

Il n'est pas nécessaire d'emballer (ou d'immobiliser) les faisceaux de combustible usé pour l'entreposage soit aux sites des réacteurs soit à l'installation d'entreposage centralisée. En effet, les

faisceaux de combustible usé constituent déjà des déchets conditionnés, solides et largement insolubles.

Toutefois, lors de la préparation pour l'évacuation, un emballage supplémentaire des déchets de combustible nucléaire est indispensable. Les déchets recyclés ont besoin d'être transformés en déchets conditionnés solides largement insolubles en utilisant du verre et de la céramique. Comme nous l'avons mentionné au chapitre 3, les faisceaux de combustible usé et les déchets recyclés passent par deux stades supplémentaires d'emballage pour l'évacuation:

- * un contenant à déchets fabriqué à partir de matériaux résistants à la corrosion; et
- * un chemisage, qui peut être un autre emballage, ou un matériau tampon/de remblai, appelé à séparer les déchets dans une voûte de la formation géologique.

4.3.1 La pratique courante

L'emballage des déchets de combustible nucléaire destinés à l'évacuation dans les formations géologiques en est encore au stade de la recherche et de la mise au point. Des scientifiques au Canada et dans d'autres pays étudient actuellement les méthodes les plus efficaces afin de s'assurer que les déchets de combustible nucléaire ne risquent pas de se dissoudre facilement dans l'eau souterraine.

Lors de leur déclaration conjointe de juin 1978, les gouvernements du Canada et de l'Ontario ont demandé à l'EACL de mener des recherches d'immobilisation sur les faisceaux de combustible usé et sur les déchets recyclés. En dépit de cette directive, personne n'a émis l'opinion que le Canada devrait opter pour le recyclage

du combustible. D'autres pays tels que la France, les États-Unis et la Suisse ont déjà des programmes bien avancés de recyclage de combustible.

4.3.2 Les questions économiques

L'une des principales questions économiques se rapportant à l'immobilisation est de savoir si les faisceaux de combustible usé devraient être emballés directement pour être éliminés ou s'ils devraient être recyclés tout d'abord, puis emballés.

- * Devrait-on immobiliser les faisceaux de combustible usé si l'on peut réaliser des avantages économiques en utilisant l'énergie restante dans ces faisceaux puis en les recyclant?
- * Est-ce que le coût de construction et d'exploitation des installations de recyclage se justifie par l'énergie économisée à la suite de ce traitement?
- * Quelles sont les différences de coûts/risques et d'avantages entre le recyclage des déchets solides et des déchets de combustible nucléaire?

D'autres questions économiques sont soulevées quant à la façon d'effectuer l'immobilisation et l'endroit où effectuer cette immobilisation.

- * En termes économiques, est-ce que le métal du contenant choisi dépendra de sa disponibilité, soit géographiquement soit du point de vue coût, ou est-ce que l'on devrait choisir le métal offrant le plus de sécurité quel que soit sa disponibilité ou son coût?

- * L'immobilisation est-elle moins coûteuse lorsqu'elle est entreprise sur les sites des réacteurs, dans une installation d'entreposage centralisée ou au(x) site(s) d'évacuation définitive?

4.3.3 Les questions sociales

La construction et l'exploitation d'une installation d'immobilisation entraîneraient des impacts sociaux.

- * Quelles seront les implications, pour la santé et la sécurité, des installations d'immobilisation en ce qui concerne les membres du grand public et les travailleurs de l'industrie?
- * Quels impacts auraient les installations d'immobilisation sur la vie de tous les jours dans la communauté abritant cette installation?
- * Si le recyclage survient avant l'immobilisation, quels effets cela aura-t-il sur l'emploi dans le secteur des mines d'uranium qui a fourni traditionnellement les matières premières pour l'utilisation dans les faisceaux de combustible nucléaire?
- * Quels sont les effets comparatifs sur la santé de l'immobilisation des faisceaux de combustible usé et du recyclage des déchets?

4.3.4 Les questions environnementales

La nature et l'étendue des impacts sur l'environnement varieront selon que l'opération impliquera des faisceaux de combustible usé

ou des déchets gazeux, solides et liquides qui sont créés durant le recyclage.

- * Quels sont les impacts sur l'environnement reliés à l'immobilisation des déchets de combustible usé?
- * Quels sont les impacts sur l'environnement du recyclage des faisceaux de combustible usé et ensuite de l'immobilisation des déchets résultant de ces procédures? Par exemple, des impacts négatifs sur l'environnement (tels que les fuites de matériaux radioactifs dans l'approvisionnement d'eau) ont été observés dans des installations d'immobilisation aux États-Unis (West Valley, New York) et en Grande-Bretagne (Sellafield), ce qui soulève des questions quant à la possibilité de gérer les déchets de recyclage.

4.4 TRANSPORT

Le transport des déchets de combustible nucléaire serait nécessaire lorsque:

- * l'entreposage se trouve dans une installation centralisée;
- * l'immobilisation prend place à un site autre qu'au site du réacteur;
- * un ou plusieurs sites d'immobilisation ont été choisis et préparés.

Le transport des déchets de combustible nucléaire implique qu'il faudra tout d'abord les enlever de leur emplacement d'entreposage initial, les préparer puis les charger sur un véhicule, et les expédier à une destination donnée, puis les décharger une fois arrivés à destination.

4.4.1 La pratique courante

Des déchets de combustible nucléaire sont actuellement transportés par différents moyens dans des pays qui ont des programmes d'énergie nucléaire, bien que ces déplacements ne se fassent pas en grand volume. Au Canada, par exemple, il y a eu plus de 500 expéditions de faisceaux de combustible usé au cours des 25 dernières années, la plupart du temps entre des installations de recherche. On a utilisé des châteaux de transport qui contenaient deux faisceaux de combustible usé et de grands conteneurs d'environ 25 faisceaux. Plus récemment, la Commission de contrôle de l'énergie atomique a émis un permis pour un prototype de château de transport qui peut transporter 196 faisceaux de combustible usé, mais son utilisation n'a pas dépassé le stade de l'essai.

- * Comment ce prototype de château de transport se compare-t-il à ce qui est envisagé dans d'autres pays?

Dans la plupart des pays, dont le Canada, les déchets de combustible nucléaire sont transportés par camion. La Suède a mis au point un château de transport pour utiliser sur des camions mais effectue actuellement ses déplacements de déchets de combustible nucléaire par bateau. Les chercheurs aux États-Unis mettent actuellement au point un concept de château qui pourrait être transporté par rail ou sur une péniche.

4.4.2 Les questions économiques

Au Canada, les frais de transport reliés aux déchets de combustible nucléaire usé sont relativement faibles étant donné que les déchets sont actuellement entreposés aux sites des réacteurs. Toute déviation de cette pratique entraînera une augmentation substantielle des frais de transport dans la gestion des déchets de combustible nucléaire.

- * Est-ce que les coûts supplémentaires de transport des déchets de combustible nucléaire vers une installation d'entreposage centralisée ou une installation d'évacuation sont justifiables lorsqu'on les compare aux avantages économiques de la construction et de l'exploitation d'une telle installation? Par exemple, le fait de se procurer une flotte de transporteurs, d'obtenir des contrats de service pour la formation, l'inspection, l'entretien et l'établissement de services d'urgence impliqueraient des coûts substantiels.
- * En termes économiques, quel mode de transport -- route, rail, eau -- constituerait le moyen le moins coûteux de transport des déchets?

4.4.3 Les questions sociales

Le mouvement des déchets de combustible nucléaire a des impacts sur la population en général ainsi que sur les individus et entreprises qui se trouvent le long du parcours.

- * Quelles sont les implications sur la santé et la sécurité pour le grand public et les travailleurs de l'industrie en ce qui concerne le transport des déchets de combustible nucléaire?
- * Comment choisira-t-on les parcours? Par exemple, des parcours longeant des zones peuplées plutôt que des zones relativement peu peuplées soulèvent des questions sociales nombreuses en ce qui a trait à l'individu, la famille/le ménage, la communauté et la région. Ces questions sociales comprennent les inquiétudes quant à la santé et à la sécurité, le risque d'accidents, le potentiel d'une dévaluation de la propriété, les mesures d'urgence adéquates et les responsabilités.

- * Comment les expéditions s'effectueront-elles? Les heures d'expédition et le fait ou non d'utiliser des convois pour ces expéditions auront des implications importantes pour les gens qui vivent dans les régions dans lesquelles ces déchets de combustible nucléaire seront transportés.

4.4.4 Les questions environnementales

La protection de l'environnement durant le transport implique la réduction des occasions de manutention des déchets de combustible nucléaire. Il est important aussi de trouver le type de système de transport qui offre le plus de sécurité en ce qui concerne l'environnement.

- * Quels sont les impacts réels et potentiels pour l'environnement du transport des déchets de combustible nucléaire? Est-ce que des mesures ont été prises pour pallier l'éventualité d'accidents dont les conséquences pourraient être très graves (c.-à-d. planification du "pire scénario possible")?
- * Est-ce qu'un système de transport sur eau ou sur terre pose moins de risque à l'environnement?
- * Pour réduire le risque de mettre en contact des matériaux radioactifs avec l'environnement, est-ce que le château de transport ou le contenant de transport et le contenant d'immobilisation devraient être un seul et même ensemble?

4.5 MESURE DES IMPACTS

L'exposé ci-dessus présente les impacts économiques, sociaux et environnementaux et les nombreuses questions reliées à la gestion des déchets de combustible nucléaire. L'identification et le tri

de ces impacts et de ces questions sont des tâches difficiles compte tenu des relations étroites et complexes entre les différents types d'impacts. Il est encore plus difficile d'essayer de mesurer les impacts économiques, sociaux et environnementaux se rapportant à la gestion des déchets de combustible nucléaire.

Diverses techniques et méthodes ont été mises au point pour mesurer et évaluer les impacts économiques, sociaux et environnementaux. Pour mesurer les impacts économiques, des techniques éprouvées telles que l'analyse des risques-coûts-bénéfices ont été largement utilisées. Les méthodologies de l'évaluation de l'impact social et de l'évaluation de l'impact environnemental ont servi à mesurer les impacts sociaux et environnementaux. Toutefois, il n'existe aucun consensus auprès des praticiens de ces techniques sur le type d'impacts que l'on devrait évaluer et sur la manière dont ces impacts devraient être mesurés.

- * Quelles sont les similitudes et les différences dans les méthodes internationales par rapport aux risques-coûts-bénéfices, l'évaluation des impacts sociaux et l'évaluation des impacts environnementaux?
- * Est-ce que les implications radiologiques des déchets de combustible nucléaire compliquent la mesure et l'évaluation des impacts économiques, sociaux et environnementaux?

En ce qui concerne la gestion des déchets de combustible nucléaire, la mesure des impacts économiques, sociaux et environnementaux est compliquée davantage par les différents points de vue qui existent dans la société quant aux avantages et aux risques relatifs reliés à l'énergie nucléaire en général et à certaines méthodes (y compris l'entreposage et l'évacuation) de gestion des déchets de combustible nucléaire en particulier. Ces différents points de vue sur les avantages et les risques ont fait couler beaucoup d'encre,

le phénomène de la perception des risques recevant une attention considérable. La perception des risques se réfère à l'évaluation et à l'interprétation intuitives des risques. La façon dont les risques sont perçus dépend généralement des expériences vécues par la personne et de sa façon de voir l'existence, entre autres choses. Différentes personnes et différents groupes de personnes perçoivent des risques différents de façon différente. La perception des risques est donc souvent un jugement personnel ou social. Un autre facteur de complication réside dans la nature souvent complexe et hautement spécialisée de la technologie nucléaire et dans la difficulté qu'il y a pour le grand public de la comprendre dans ses détails. L'évaluation et la mesure des impacts prévus de projets importants tels qu'une installation pour la gestion des déchets nucléaires constituent une entreprise pleine de défis.

- * Quels moyens avons-nous à notre disposition pour bien percevoir les risques lorsque l'on essaie de mesurer les impacts?
- * A qui devraient incomber l'identification et l'évaluation des risques?

4.6 RÉDUCTION DES IMPACTS

Les efforts entrepris pour réduire ou atténuer les impacts prévus d'une installation conçue pour la gestion des déchets de combustible nucléaire impliquent des questions également très complexes, que vient compliquer davantage la longue période durant laquelle ces mesures pourraient être appropriées et le fait que plusieurs générations de résidents pourraient en bénéficier.

En général, les mesures de réduction des impacts bénéficient aux promoteurs, aux communautés locales et à la société en général dans

la mesure où elles permettent une construction plus efficace, plus équitable et plus rapide des projets essentiels. Cette réduction des impacts implique des mesures pour réduire les demandes sur les systèmes locaux, favoriser la capacité des systèmes locaux, compenser les communautés/individus ou fournir des encouragements aux intérêts locaux.

Une gamme complexe de mesures a été utilisée pour réduire les impacts d'autres projets à grande échelle (par ex. protection de la valeur de la propriété, avis préalable, embauche préférentielle, mesures de l'effet de nuisance, contrôle local des installations de surveillance), mais les mesures de réduction peuvent être très appropriées parce que la technique de gestion sélectionnée des déchets de combustible nucléaire est assujettie au débat public. La question de savoir qui devrait être compensé est encore beaucoup plus difficile à cerner. Bien que certains intérêts devraient nettement être compensés (par ex. les propriétaires de terrains, le gouvernement local), d'autres parties telles que les résidents qui se trouvent à une certaine distance des parcours de transport ou des installations ou les générations futures des résidents locaux soulèvent des questions beaucoup plus perplexes.

- * Étant donné qu'il y a et qu'il y aura des impacts en ce qui concerne la gestion des déchets de combustible nucléaire et que des mesures de réduction des impacts sont désirables, est-ce que la surveillance devrait faire partie de la méthode de gestion?
- * Si tel est le cas, quel genre de surveillance devrait-on effectuer et pendant combien de temps (pour mesurer l'efficacité des mesures de réduction des impacts, y compris les éléments techniques du système)?

4.7 PROCESSUS DE SÉLECTION DES SITES

De nombreuses questions se rapportant à la sélection du site ont été abordées dans ce document. Toutefois, si on considère la nature compliquée d'une telle sélection pour les installations impliquant des exigences techniques; les impacts économiques, sociaux et environnementaux; les perceptions individuelles des impacts; et les diverses possibilités de réduction des impacts, le processus de sélection des sites pour ces installations prend toute son importance.

En supposant qu'une agence de sélection des sites ait été créée (même sa composition, qu'elle soit privée ou publique, internationale ou nationale, soulève des questions fondamentales), il existe trois possibilités de processus de sélection des sites. Les questions inhérentes à chacune sont complexes et bien reliées entre elles.

4.7.1 Initiative de l'agence de sélection des sites

Dans ce cas-ci, l'agence de sélection des sites prend la décision quant à l'emplacement des installations (c.-à-d. entreposage, parcours de transport, installation d'évacuation) en utilisant une combinaison de renseignements scientifiques/techniques, géologiques, économiques, sociaux et environnementaux au sujet du ou des site(s), du ou des parcours et des impacts possibles sur les activités au sein de la communauté.

- * Est-ce qu'un processus de sélection des sites entrepris du haut vers le bas constitue la stratégie la plus appropriée?

4.7.2 Sélection des sites par médiation

L'agence de sélection des sites prend une décision comme dans 4.7.1 mais fournit à la communauté un intervenant ou un avocat pour présenter le cas de la communauté au sein du processus décisionnel de l'agence. On présume que la communauté présentera son point de vue contre le choix d'un site, ou l'intervenant pourra avoir pour objectif de présenter le cas précis de certains groupes de cette communauté, comme par exemple, les personnes âgées.

4.7.3 Sélection du site basée sur la communauté

L'agence de sélection du site invite les communautés à un processus de mise à prix, la réduction ou la compensation étant le prix payé par l'agence pour obtenir l'approbation. Dans ce cas, toutes les communautés envisagées seront informées de leur admissibilité et elles seront tenues au courant des diverses formes de compensation qui seront mises à leur disposition. Ces communautés devront présenter des soumissions décrivant les ensembles de compensation qui pourraient rendre cette installation acceptable dans leur cas. L'agence sélectionnera alors le site.

- * Est-ce qu'un processus de sélection des sites entrepris du bas vers le haut, comme dans le cas du groupe de travail du processus de sélection des sites du Canada sur les sites d'évacuation des déchets radioactifs à faible activité, constitue la stratégie la plus appropriée?

Bien sûr, le processus de sélection des sites qui sera utilisé en fin de compte peut comprendre des éléments appartenant à chacun des choix que nous avons présentés ci-dessus.

OUVRAGES SUPPLÉMENTAIRES SUGGÉRÉS

Cette section propose une liste d'ouvrages supplémentaires qui traitent des questions concernant les déchets de combustible nucléaire. En général, les lectures citées sont destinées au public et sont accompagnées d'un bref résumé de leur contenu.

Acres International Limited. Un examen des diverses approches utilisées par les nations industrialisées pour la gestion et l'évacuation des déchets nucléaires de haute activité. Niagara Falls: Un rapport préparé pour le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales, 1989.

Un rapport complet sur les principaux programmes internationaux de recherche et de mise au point pour la gestion et l'évacuation des déchets de combustible nucléaire. Ce document traite aussi des accords internationaux de coopération dans les activités de recherche et de mise au point.

Armour, Audrey. La gestion responsable des impacts: Un document de discussion. Ottawa: Rapport destiné au groupe de travail chargé d'étudier une nouvelle stratégie pour le choix des sites d'évacuation des déchets à faible radioactivité, 1987.

Cet exposé passe en revue un certain nombre de techniques de gestion des impacts qui ont été et pourraient être utilisées. Ces mesures sont reliées à toute la question de la résistance par le public à le choix des sites pour des installations indésirables.

Commission de contrôle de l'énergie atomique. Évacuation en profondeur des déchets de combustible nucléaire: Historique et exigences réglementaires concernant le stade de l'évaluation du concept. Ottawa: Texte de réglementation R-71. Le 29 janvier 1985.

Un document de réglementation type du CCEA conçu pour guider ÉACL dans l'évaluation du concept d'évacuation dans les formations géologiques des déchets de combustible nucléaire. Bien que l'accent soit surtout mis sur la réglementation, le document souligne aussi certaines questions techniques et d'impact qui doivent être envisagées par un promoteur.

Brisco, Bob et al. Les déchets hautement radioactifs au Canada: La onzième heure a sonné. Ottawa: Rapport du Comité permanent de l'environnement et des forêts sur l'entreposage et l'évacuation des déchets hautement radioactifs, 1988.

Un des nombreux rapports publiés au cours de la dernière décennie et traitant de la question des déchets de

combustible nucléaire du point de vue du processus selon lequel les décisions sont prises ou devraient être prises. Ce rapport contient plusieurs recommandations se rapportant à ce processus.

Brundtland, Gro Harlem et al. Notre avenir à tous. Londres: Oxford University Press, Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1987.

Ce rapport, qui est un projet des Nations-Unies, passe en revue un certain nombre de problèmes environnementaux, y compris la gestion des déchets dans un contexte international. Il formule des recommandations pour s'assurer que les progrès humains puissent se poursuivre par le développement sans mettre en faillite les ressources des générations futures.

Cobb, Charles E. Jr. "Living with Radiation". National Geographic (Avril 1989): 403-437.

Une bonne étude générale de la nature des radiations, l'histoire de son utilisation et les expériences internationales dans les applications bénéfiques et dangereuses des radiations.

Hare, F.K. et al. La gestion des déchets nucléaires du Canada. Ottawa: Compte rendu d'une étude préparée à forfait pour le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, 1977.

Ce rapport a été commandé pour faire un certain nombre de recommandations au gouvernement sur la gestion et l'évacuation des déchets de combustible nucléaire. Un grand nombre de ses recommandations constituent la base des activités de recherche de EACL concernant les déchets de combustible nucléaire.

Johnson, Harry et Marvis Tutiah. Le rayonnement fait partie de la vie. Énergie atomique du Canada, Limitée: Établissement de recherche nucléaire de Whiteshell. Pinawa, Manitoba, 1985.

Un guide pour le profane sur les différentes sortes de radiations, la façon de les mesurer et les risques qu'elles peuvent faire courir. Une brève discussion des normes internationales pour l'exposition de l'être humain aux radiations.

Kasperson, Roger E., ed. Equity Issues in Radioactive Waste Management. Cambridge, Massachusetts: Oelgeschlager, Gunn & Hain, Publishers, Inc., 1983.

L'équité reliée au concept de justice. Ce recueil d'articles examine les questions d'équité à partir de trois points de

vue: géographique, intergénérationnel et le grand public par rapport aux employés de l'industrie nucléaire.

Murdock, S.H. et al. Nuclear Waste: Socioeconomic Dimensions of Long-Term Storage. Boulder, Colorado: Westview Press, 1983.

Ce livre examine les implications socio-économiques de la gestion des déchets de combustible nucléaire et de choix d'un site pour une installation d'évacuation. Bien que plusieurs des questions traitées dans ce livre touchent le nucléaire, un grand nombre s'appliquent à d'autres types de programmes et de problèmes importants à long terme.